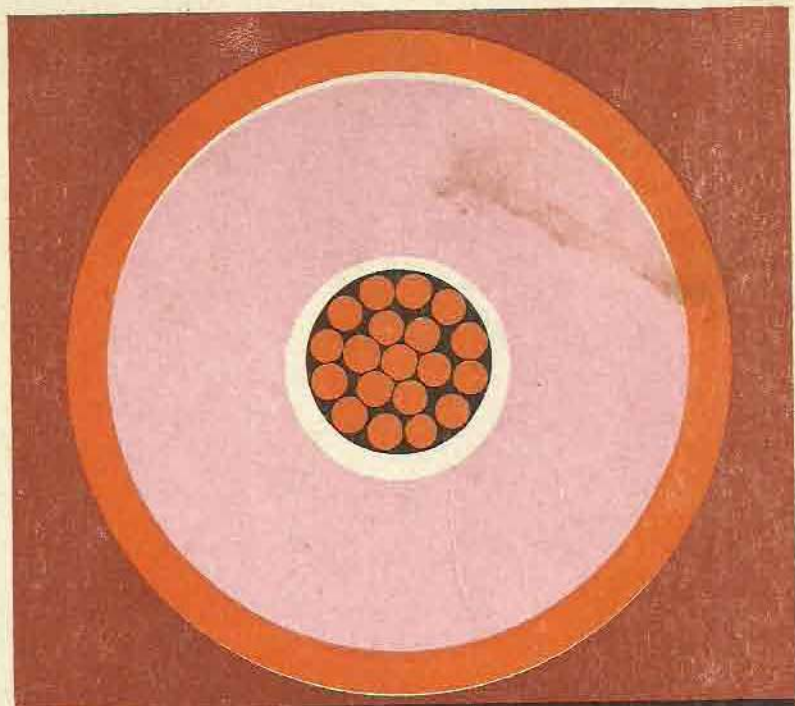




N. GHIȚĂ

STUDIUL  
**MATERIALELOR  
ELECTROTEHNICE**

Manual pentru licee industriale  
cu profil de electrotehnică, clasa a IX-a;  
școli de maiștri și de specializare postliceală

ing. NICOLAE GHIȚĂ

---

STUDIUL  
**MATERIALELOR**  
ELECTROTEHNICE

---

**Manual pentru licee industriale cu profil de electrotehnică, clasa a IX-a, școli de maiștri și de specializare postliceală**



Editura didactică și pedagogică — București, 1977

## INTRODUCERE

Înfăptuirea operei de industrializare socialistă, introducerea pe scară largă a energiei electrice în toate ramurile economiei naționale și extinderea mecanizării și automatizării au pus în fața industriei electrotehnice din țara noastră sarcini deosebit de importante. An de an au crescut sortimentul și nivelul tehnic al mașinilor, aparatelor și materialelor electrotehnice.

Industria electrotehnică din țara noastră, creată în anii puterii populare, se dezvoltă continuu în urma directivelor date de conducerea P.C.R.

Pentru a face față cerințelor impuse de economia națională, industria electrotehnică a realizat o producție însemnată de motoare, generatoare, transformatoare, cabluri și conductoare electrice.

Introducerea electrificării în transporturi a trasat ca sarcină asimilară în țară a unui echipament electric de înaltă calitate, care să asigure funcționarea fără defecțiuni a locomotivelor diesel-electrice și electrice.

Industria electrotehnică contribuie la creșterea nivelului cultural și de trai al oamenilor muncii.

Producția de mașini și aparate electrice necesită o serie de materiale specifice: materiale electroizolante, conductoare, materiale magnetice. Progresul tehnic și ritmul rapid de dezvoltare a producției în domeniul mașinilor și aparatelor electrice pune problema fabricării unor materiale electrotehnice de înaltă calitate, executate pe baza materiilor prime existente în țară și a unei tehnologii avansate.

Printr-o proiectare corectă dar și printr-o corectă alegere și exploatare a materialelor conductoare și electroizolante, s-a ajuns să se realizeze sarcinile trasate de P.C.R. de reducere a greutateii mașinilor electrice (reducerea consumului de tablă silicioasă și de cupru), ca și de îmbunătățire a caracteristicilor de exploatare (randament, factor de putere, cuplu de pornire pentru motoarele electrice, capacitate de închidere și rupere, uzura mecanică pentru aparatajul de conectare).

Ținând seama de necesitățile industriei electrotehnice și paralel cu dezvoltarea acesteia, la noi în țară a luat ființă și a căpătat un puternic avânt ramura industriei materialelor electrotehnice. Pentru dezvoltarea

acestei ramuri a fost necesară dezvoltarea industriei chimice, care să asigure materiale plastice, lacuri de impregnare etc., a metalurgiei metalelor neferoase și feroase, care să producă cupru, aluminiu, oțeluri etc., a industriei textile, care să producă fibre și țesături de bumbac și sticlă etc. Iată câteva exemple : materiale conductoare (sîrme pentru bobinaj, diverse profile de cupru) se fabrică la *Industria Sîrmei-Cîmpia Turzii* și la *Metrom-Brașov*, iar la Oțelul Roșu se fabrică tablă silicioasă. Materialele electroizolante ceramice se produc la *Electroceramica-Turda*, materiale fibroase la Bușteni, Piatra Neamț și Bacău, PCV și fibre PCV la Săvinești, lacuri și vopsele la București. *Întreprinderea de cabluri și materiale electroizolante (I.C.M.E.)* din București fabrică materiale electroizolante stratificate și presate, materiale pe bază de mică, țesături impregnate, conductoare și cabluri de forță și telefonice.

Studiul materialelor este o disciplină de bază, deoarece este necesar să se cunoască proprietățile și utilizarea în electrotehnică și energetică a materialelor cu care va veni în contact viitorul muncitor în munca lui în producție. Cunoașterea temeinică a progreselor realizate în îmbunătățirea materialelor cunoscute, precum și în crearea de noi materiale care să satisfacă cerințele mereu crescînde ale tehnicii constituie baza progresului în continua perfecționare a mașinilor, aparatelor și instalațiilor electrice.

# Capitolul I

## DOMENIUL DE UTILIZARE ȘI CLASIFICAREA MATERIALELOR ELECTROTEHNICE

### A. GENERALITAȚI

Industria electrotehnică folosește un număr mare de diferite metale și aliaje, ca: oțeluri pentru construcții, fontă și metale neferoase turnate și materiale cu întrebuințări speciale. Aceste materiale cu întrebuințări speciale, numite și *materiale electrotehnice*, au un rol important în funcționarea mașinilor, aparatelor și instalațiilor electrice, la construirea liniilor de transport de energie electrică, datorită comportării lor față de curentul electric și de fluxul magnetic.

Un circuit electric ca în figura 1-1, format dintr-o sursă de tensiune electrică care alimentează prin niște cabluri un rezistor  $R$  și un electromagnet  $M$ , folosește mai multe tipuri de materiale electrotehnice. Astfel:

- cablurile sînt *materiale conductoare*, a căror proprietate principală constă în a conduce bine curentul electric;

- rezistorul este executat dintr-un suport care nu conduce curentul electric, adică este *electroizolant*, pe care se bobinează un material care permite trecerea curentului electric, dar opune o anumită rezistență;

- electromagnetul este executat dintr-o bobină, realizată dintr-un material conducător de curent și un miez metalic prin care se concentrează liniile de cîmp ale fluxului magnetic creat de curentul din bobinaj. Datorită acestui flux magnetic, miezul atrage armătura mobilă.

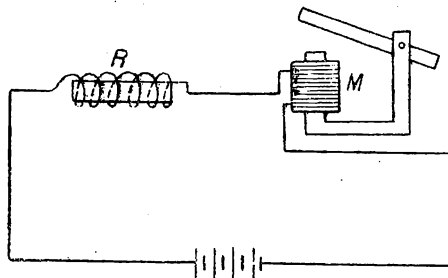


Fig. 1-1. Exemplu de circuit electric.

În exemplul de mai sus s-a văzut că se pot întâlni mai multe feluri de materiale electrotehnice cu proprietăți și utilizări diferite, și anume : *conductoare, izolante și magnetice.*

● **Materialele conductoare** sînt materialele pieselor care au proprietatea de a conduce curentul la instalațiile electrice, ca : vinele cablurilor și ale conductoarelor izolate, conductoarele neizolate ale liniilor aeriene, înfășurările mașinilor și aparatelor electrice, contactele întrerupătoarelor, prizelor și comutatoarelor etc. În categoria materialelor, conductoare intră metalele și aliajele lor, electroliții (soluții de acizi, baze și săruri), gazele și vaporii ionizați.

● **Materialele electroizolante** (numite și *dielectrici*) sînt materialele care au proprietatea de a nu conduce curentul electric și de a forma o izolație electrică împrejurul pieselor conducătoare de curent (izolațiile cablurilor, conductoarelor de bobinaj) ; ele sînt folosite și ca suport al pieselor din materiale conductoare (plăci de borne, socluri), pentru a separa electric piesele aflate la potențial electric diferit.

Sortimentul de materiale electroizolante folosite în industria electrotehnică este foarte variat. Se pot aminti : porțelanul, materialele fibroase, cauciucul, materialele plastice, peliculele de lac, mica, uleiul de transformator, uleiul de cablu, aerul etc.

● **Materialele magnetice** sînt materialele pieselor care au proprietatea de a permite trecerea liniilor de cîmp magnetic. Ele formează circuitele magnetice ale releelor, electromagneților, mașinilor electrice, ale diverselor instrumente și aparate.

Piesele executate din aceste materiale capătă prin magnetizare proprietatea de a atrage corpurile din materiale feroase aflate în apropiere. Din această categorie fac parte materialele ca : fierul și aliajele sale cu carbonul (fonta și oțelul), aliajele fierului cu siliciul și altele. Toate aceste materiale își pierd repede proprietățile magnetice. Materialele pentru magneți permanenți, folosiți la difuzoarele aparatelor de radio de exemplu, trebuie să-și păstreze timp îndelungat proprietățile magnetice. Materialele care îndeplinesc această condiție sînt obținute printr-un tratament termic special al oțelurilor aliate cu crom sau wolfram, sau prin presarea pulberilor metalice de fier sau de aliaje alu-miniu-nichel-fier.

**Observație.** Această delimitare a influenței și rolului fiecărei grupe de materiale — conductoare, izolatoare, materiale magnetice — este aproximativă, deoarece la realizarea unui aparat sau a unei instalații electrotehnice prevăzute să funcționeze în anumite condiții trebuie ținut seama și de alți factori, ca : comportare la umiditate, la temperaturi mari, la solicitările mecanice, la acțiunea agenților chimici etc.

Rezultă deci că pentru obținerea unui aparat sau a unei instalații electrice cu anumite caracteristici este necesară alegerea și utilizarea corectă a materialelor electrotehnice, iar pentru aceasta este necesară cunoașterea proprietăților electrice, magnetice, fizico-chimice, mecanice, a metodelor de prelucrare și a tehnologiei de fabricație a materialelor respective.

## B. CLASIFICAREA MATERIALELOR FOLOSITE ÎN ELECTROTEHNICĂ

Materialele folosite în electrotehnică se clasifică ținând seama de principalele lor proprietăți de utilizare.

### 1. CLASIFICAREA DIN PUNCT DE VEDERE ELECTRIC

Din punct de vedere electric, materialele se împart în: *conductoare*, *semiconductoare* și *electroizolante*.

Această împărțire are la bază criteriul comportării lor față de trecerea curentului electric. Mărimea care caracterizează această proprietate se numește *rezistivitate electrică* și reprezintă rezistența unității de volum din materialul respectiv. Ea se exprimă în S.I. în  $\Omega \cdot m$ , iar în practică  $\Omega \cdot mm^2/m^*$ . Mărimea inversă rezistivității se numește *conductivitate electrică*.

Rezistivitatea conductoarelor are valori cuprinse între  $10^{-8}$  și  $10^{-3} \Omega \cdot m$ , a materialelor electroizolante este foarte mare,  $10^6 \dots 10^{18} \Omega \cdot m$ , iar a materialelor semiconductoare este cuprinsă între a conductoarelor și izolatoarelor.

Materialele conductoare având rezistivitatea mică, au conductibilitatea electrică mare, pe când izolatoarele având rezistivitatea foarte mare au conductibilitatea electrică practic nulă.

### 2. CLASIFICAREA DIN PUNCT DE VEDERE MAGNETIC

Din punct de vedere magnetic, materialele se împart în *diamagnetice* și *paramagnetice*.

Această împărțire are la bază criteriul comportării lor când sînt introduse într-un cîmp magnetic exterior. Mărimea care caracterizează această proprietate este *permeabilitatea magnetică absolută*  $\mu$  a materialului, care s-a definit la cursul de fizică. În practică se folosește

---

\*  $\Omega \cdot mm^2/m = 10^6 \Omega \cdot m$ .

noțiunea de *permeabilitate magnetică relativă*  $\mu_r$ , care compară permeabilitatea magnetică a materialului cu *permeabilitatea magnetică a vidului*,  $\mu_0$ .

Astfel se definește :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}.$$

● **Materialele diamagnetice** sînt *materialele care introduse într-un câmp magnetic se magnetizează foarte slab și în sens invers câmpului exterior*. Aceste materiale au  $\mu_r < 1$  (de exemplu, cuprul are  $\mu_r = 0,99999$ ). Din această categorie fac parte cuprul, zincul, aurul, argintul, mercurul și altele. Ele nu se folosesc în industria electrotehnică pentru proprietățile lor magnetice.

● **Materialele paramagnetice** sînt *materialele care introduse într-un câmp magnetic se magnetizează în același sens cu câmpul exterior*. Aceste materiale au  $\mu_r > 1$  (de exemplu aluminiul are  $\mu_r = 1,000022$ ). Din această categorie fac parte manganul, cromul, staniul, magneziul, wolframul, platina, aerul, oxigenul și altele.

Unele materiale paramagnetice se magnetizează foarte puternic atunci cînd se află într-un câmp magnetic exterior. Din această categorie fac parte fierul, nichelul, cobaltul și aliajele lor. Aceste materiale au  $\mu_r \gg 1$  (de exemplu fierul are  $\mu_r = 5\,000$ , oțelul electrotehnic are  $\mu_r = 10\,000$ , aliajul permalloy are  $\mu_r = 100\,000$ ). Corpurile executate din aceste materiale sînt puternic atrase de orice magnet ; ele au fost denumite *materiale feromagnetice*, iar în practică sînt cunoscute sub numele de *materiale magnetice*. Permeabilitatea magnetică a materialelor feromagnetice nu este constantă, ci depinde de intensitatea câmpului magnetizant exterior (fig. 1-2).

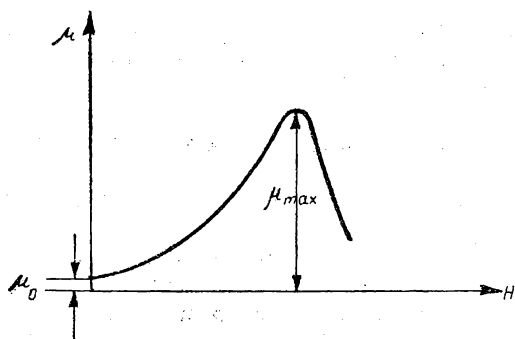


Fig. 1-2. Variația permeabilității magnetice a fierului în funcție de intensitatea câmpului electric.

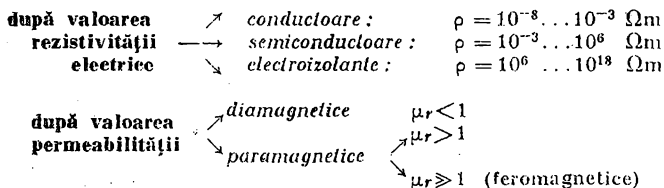
**Observație.** În cazul materialelor dia- și paramagnetice se poate considera  $\mu_r = 1$  cu o aproximație suficientă pentru aplicațiile tehnice ; de aceea se insistă asupra studiului materialelor feromagnetice.

În industria electrotehnică și-au găsit o largă folosire în construcția aparatului și a mașinilor electrice proprietățile magnetice ale materialelor feromagnetice. În afară de aces-

te materiale se folosesc și materialele care au  $\mu_r$  apropiat de 1, la circuitele magnetice la care unele porțiuni trebuie să aibă  $\mu = \mu_0$  pentru a nu fi influențată repartiția liniilor de forță ale cîmpului magnetic.

## REZUMAT

Materialele folosite în industria electrotehnică se clasifică :



## Verificarea cunoștințelor

1. Care sînt cele mai importante proprietăți fizice ale materialelor care trebuie luate în considerare la clasificarea materialelor electrotehnice ?
2. Dați exemple de diverse utilizări ale materialelor electrotehnice conductoare, electroizolante și magnetice.
3. Care sînt valorile limită ale rezistivității electrice prin care se clasifică diversele categorii de materiale folosite în electrotehnică ?
4. Arătați cum se clasifică materialele în funcție de valoarea permitivității magnetice relative. Dați exemple.

## Capitolul II

### PROPRIETĂȚILE METALELOR ȘI ALIAJELOR

#### A. GENERALITĂȚI

Corpurile întâlnite în natură pot fi împărțite, din punct de vedere chimic, în *corpuri simple* sau *elemente* și *corpuri compuse*.

● **Corpurile simple** (elementele) *sînt formate dintr-un singur fel de atomi.*

Corpurile simple se împart în două mari grupe : *metale* (cupru, fier, aluminiu etc.) și *nemetale* (oxigen, hidrogen, carbon, sulf etc.).

● **Corpurile compuse** *sînt formate din două sau mai multe elemente.*

Din categoria corpurilor compuse fac parte și *aliajele*.

**Aliajele** sînt *amestecuri de două sau mai multe corpuri simple, dintre care cel puțin unul este metal.*

În industria electrotehnică se întrebuițează atît metale pure, cît și aliaje.

**O b s e r v a Ț i e.** Metalele pure sînt întrebuițate mai rar ; de cele mai multe ori se întrebuițează aliajele lor, pentru că acestea au caracteristici mecanice și tehnologice superioare metalelor care le compun.

Proprietățile aliajelor depind de componenți și de structura lor. În industria electrotehnică se utilizează aliaje pe bază de fier (oțel-carbon și oțel aliat, fontă cenușie și fontă maleabilă) și aliaje ale metalelor neferoase, pe bază de cupru, aluminiu, magneziu, plumb etc.

Metalele și aliajele sînt corpuri solide (în afară de mercur, care este lichid).

Metalele și aliajele se deosebesc prin proprietățile lor fizice, chimice, mecanice și tehnologice. Cunoașterea tuturor acestor proprietăți dă posibilitatea grupării materialelor în funcție de proprietățile comune sau asemănătoare.

Există proprietăți comune pentru toate corpurile care se găsesc într-o anumită grupă, dar fiecare corp are și proprietățile sale specifice.

## B. PROPRIETĂȚI FIZICE

Se numesc **proprietăți fizice** proprietățile care determină relațiile materialelor cu fenomenele fizice care se petrec în natură (de exemplu, relația cu accelerația căderii libere, cu variațiile de temperatură, cu acțiunea curentului electric).

Proprietățile fizice se exprimă prin diferite mărimi, măsurate cu anumite unități.

### 1. CONDUCTIBILITATEA ELECTRICĂ

Așa cum s-a arătat în cap. I, metalele și aliajele fac parte din categoria materialelor conductoare, deci proprietatea lor comună este *conductibilitatea electrică*.

*Mărimea care caracterizează această proprietate se numește conductivitate electrică.*

În electrotehnică sînt importante și materialele de *mare conductivitate* și cele de *mare rezistivitate*.

Din tabela 2-1, în care sînt date principalele caracteristici ale metalelor și aliajelor folosite mai mult în electrotehnică, se constată că argintul, cuprul și aluminiul se remarcă prin rezistivitatea electrică cea mai mică. Cea mai mare importanță în tehnică o are cuprul, deoarece argintul este scump, iar în unele aplicații (conductoarele liniilor aeriene, bobinajele transformatoarelor) se utilizează atît cuprul cît și aluminiul.

În categoria materialelor pentru rezistențe electrice, intră, așa cum se vede în tabela 2-1, aliajele de crom-nichel : nichelină, manganină, constantan.

● **Dependența de temperatură a rezistivității.** În timpul funcționării unui aparat, a unei mașini sau instalații electrice se știe că se dezvoltă căldură, datorită trecerii curentului electric prin conductoare (efectul termic al curentului electric sau efectul Joule). O parte din căldură este transmisă mediului înconjurător, iar o altă parte rămîne în conductor, ducînd la creșterea temperaturii acestuia.

Rezistivitatea conductoarelor crește cu temperatura conform relației :

$$\rho_t = \rho_0[1 + \alpha(t - t_0)]$$

Proprietățile fizice și caracteristicile mecanice ale principalelor metale  
și aliaje folosite în electrotehnică

| Metalul<br>sau aliajul  | Simbolul | Rezisti-                                  | Conducti-                                           | Densitatea | Coef. de          | Coef. de    | Tempera-          | Rezistența | Alungirea |   | Duritatea |
|-------------------------|----------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------|-------------------|-------------|-------------------|------------|-----------|---|-----------|
|                         |          | vitatea la<br>20°C<br>$10^{-6}[\Omega m]$ | vitatea electrică<br>la 20°C<br>[m/ $\Omega mm^2$ ] |            |                   |             |                   |            | la rupere | % |           |
| Argint                  | Ag       | 0,0162                                    | 62,5                                                | 10,5       | 0,975             | 1,93        | 961               | 16...29    | 20...50   |   | 25        |
| Aluminiu                | Al       | 0,0265                                    | 37                                                  | 2,7        | 0,57              | 2,38        | 659               | 9...17     | 45        |   | 22        |
| Aliaje de alu-<br>miniu |          | —                                         | —                                                   | 2,6...2,9  | 0,2...0,42        | 2,1         | —                 | —          | —         |   | —         |
| Alamă                   | Am       | 0,085                                     | 11,8                                                | 8,1...8,6  | 0,26              | 1,875       | 900               | 18...88    | 5...50    |   | 40...140  |
| Bronz                   | Bz       | 0,028                                     | 35,4                                                | 7,4...8,9  | 0,061...<br>0,14  | 1,68...2,95 | —                 | 50...85    | 3...30    |   | 80...200  |
| Constantan              |          | 0,49                                      | 2                                                   | 8,9        | 0,054             | 1,45...1,7  | 1 190             |            |           |   |           |
| Crom                    | Cr       | 0,026                                     | 37,5                                                | 7,2        | 0,165             | 0,66        | 1 903             | 10...40    |           |   | 35... 95  |
| Cupru                   | Cu       | 0,0174                                    | 57,2                                                | 8,96       | 0,941             | 1,68        | 1 083             | 21...45    | 2...50    |   | 60        |
| Fier                    | Fe       | 0,1                                       | 10                                                  | 7,87       | 0,161             | 1,15        | 1 536             | 20...25    | 50        |   |           |
| Fontă cenușie           | Fc       | 0,4...1                                   | —                                                   | 7,6        | 0,11              | 1,06        | 1 200             | 12...38    | 0,25      |   | 143...220 |
| Oțel                    | OL       | 0,62                                      | 1,6                                                 | 7,7        | 0,108...<br>0,115 | 1,05...1,32 | 1 170...<br>1 530 | 37...64    | 11...25   |   | 100...220 |
| Magneziu                | Mg       | 0,046                                     | 22                                                  | 1,74       | 0,40              | 2,6         | 649               | 20         | 8         |   | 25... 40  |
| Manganină               |          |                                           | 2,4                                                 | 8,4        | 0,052             | 1,75        | 910               | —          | —         |   | —         |
| Nichel                  | Ni       | 0,087                                     | 11,5                                                | 8,91       | 0,2               | 1,33        | 1 455             | 40...80    | 2...45    |   | 80...200  |
| Plumb                   | Pb       | 0,205                                     | 4,85                                                | 11,34      | 0,084             | 2,94        | 327               | 1,5        | 60        |   | 3,8...4,2 |
| Staniu                  | Sn       | 0,114                                     | 8,3                                                 | 7,29       | 0,16              | 2,7         | 232               | 2,75       | 40        |   | 4,2...5,2 |
| Wolfram                 | W        | 0,055                                     | 18                                                  | 19,27      | 0,31              | 0,45        | 3 390             | 350        | —         |   | 350       |
| Zinc                    | Zn       | 0,0595                                    | 16,5                                                | 7,13       | 0,27              | 3,07        | 419               | 13         | 35...45   |   | 30...35   |

unde  $\rho_t$  și  $\rho_0$  reprezintă rezistivitatea la temperaturile  $t$  și  $t_0$ , iar  $\alpha$  este coeficientul de temperatură al rezistivității.

Pentru metale pure, valoarea lui este aproape constantă, egală cu  $0,004/1^\circ\text{C}$ .

Este deci necesar ca la calculul rezistenței unui conductor să se țină seama de creșterea rezistivității în funcție de temperatură; în tabela 2-1 este dată rezistivitatea la  $20^\circ\text{C}$ .

Alte proprietăți fizice importante ale metalelor sînt: densitatea, conductibilitatea termică, dilatarea, fuzibilitatea.

## 2. DENSITATEA

**Densitatea** este definită ca masa pe care o are unitatea de volum a materialului considerat.

De exemplu, dacă  $1\text{ dm}^3$  de fier cîntărește  $7,86\text{ kg}$ , atunci densitatea fierului este de  $7,86\text{ kg/dm}^3$ . Stabilirea masei diferitelor produse electrotehnice are o deosebită importanță. Astfel, conductoarele liniilor aeriene de distribuție se fac din aluminiu, care are o densitate (deci masă la același volum de material) de 3,3 ori mai mică în comparație cu cuprul, deși rezistivitatea este de 1,5 ori mai mare.

## 3. CONDUCTIBILITATEA TERMICĂ

**Conductibilitatea termică** este proprietatea metalelor și aliajelor de a conduce căldura.

Ea este caracterizată de conductivitatea termică.

**Conductivitatea termică** se definește prin cantitatea de căldură transmisă în timp de  $1\text{ s}$  de o bară cu lungimea de  $1\text{ cm}$  pentru o diferență de temperatură de  $1\text{ grad}$  și se măsoară în calorii pe centimetru, secundă, grad ( $\text{cal/cm}\cdot\text{s}\cdot\text{grad}$ )\*.

Printre cele mai bune conductoare de căldură sînt argintul, cuprul, aluminiul, alama și, în sfîrșit, cositorul și oțelul.

Cunoașterea acestei mărimi are o deosebită importanță. Utilizarea materialelor care au o conductibilitate termică mare asigură evacuarea mai rapidă a căldurii.

---

\* În SI conductivitatea termică se măsoară în  $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{grad}}$ .

$$\frac{1\text{ W}}{\text{m}\cdot\text{grad}} = 2,39 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{grad}}.$$

#### 4. DILATAREA

**Dilatarea** este *proprietatea metalelor și a aliajelor de a-și mări dimensiunile când sînt încălzite*.

Prin încălzire se măresc toate dimensiunile corpurilor. În cazul utilizării în instalațiile de distribuție a barelor se ia însă în considerație numai dilatarea liniară, deoarece dimensiunile celelalte sînt mult mai mici în comparație cu lungimea, iar dilatarea lor este foarte mică.

**Coeficientul de dilatare liniară** este definit prin *cantitatea cu care se dilată în lungime 1 m dintr-un corp cînd i se ridică temperatura cu 1 K*.

Un exemplu de dilatare liniară a metalelor îl prezintă dilatarea conductoarelor electrice din rețelele de distribuție, care iarna sînt foarte întinse, iar vara au o săgeată pronunțată.

#### 5. FUZIBILITATEA

**Fuzibilitatea** este *proprietatea unui corp de a se putea topi*.

**Temperatura de topire** este *temperatura la care materialul trece din stare solidă în stare lichidă, sub influența căldurii*.

Astfel, fierul se topește la 1 535°C, cuprul la 1 083°C, aluminiul la 658°C.\*

În electrotehnică se folosesc atît metale cu punct de topire ridicat, ca wolframul (3 390°C) — pentru construcția filamentelor lămpilor electrice — cît și metale cu punct de topire scăzut, ca staniul (232°C) și plumbul (327°C) — pentru obținerea aliajelor de lipit.

#### C. PROPRIETĂȚI MECANICE

Se numesc **proprietăți mecanice** ale materialelor acele proprietăți care *arată modul în care se comportă materialele sub acțiunea diferitelor forțe exterioare la care sînt supuse*.

Proprietățile mecanice ale materialelor sînt următoarele: **rezistența, elasticitatea, plasticitatea, reziliența, tenacitatea, fragilitatea, fluajul, rezistența la uzură, duritatea, rezistența la oboseală**.

---

\* Unitatea de măsură a temperaturii în SI este Kelvinul (K):

$$T[K] = t[^\circ\text{C}] + 273,15.$$

## 1. REZISTENȚA

**Rezistența** este *proprietatea metalelor și a aliajelor de a se opune acțiunii forțelor mecanice exterioare care tind să le deformeze sau să le distrugă*.

În general, forțele exterioare determină următoarele **solicitări simple** ale corpurilor :

— *întindere*, când forțele acționează axial spre exterior cu tendința să lungească piesa (fig. 2-1, a) ;

— *compresiune*, când forțele acționează axial, avînd tendința de a scurta piesa (fig. 2-1, b) ;

— *tăiere sau forfecare*, când forțele au tendința de a tăia piesa (fig. 2-1, c) ;

— *încovoiere*, când forțele exterioare acționează perpendicular pe axa piesei și au tendința de a o îndoi (fig. 2-1, d) ;

— *răsucire*, când forțele exterioare formează două cupluri (momente) de sensuri contrare, care au tendința să răsucească (torsioneze) piesa (fig. 2-1, e).

În practică, corpurile sînt supuse unor solicitări compuse.

Comportarea unui material la întindere sau compresiune se caracterizează prin rezistența specifică la întindere sau compresiune, notată cu  $\sigma_r$ .

**Rezistența specifică** este *raportul dintre forța exterioară de rupere (notată cu  $F_r$  și măsurată în N) și secțiunea transversală a piesei din materialul respectiv (notată cu  $A$  și măsurată în  $m^2$ )\** :

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A} [N/m^2].$$

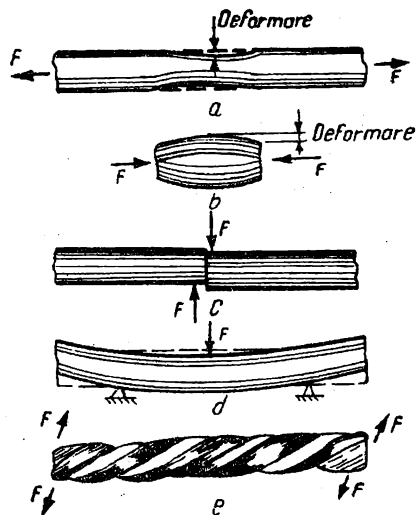


Fig. 2-1. Modul de acțiune a solicitărilor și deformațiile produse :

a — întindere ; b — compresiune ; c — tăiere ; d — încovoiere ; e — răsucire.

\* Între unitatea de măsură în SI ( $N/m^2$ ) și unitatea de măsură în sistemul MKIS ( $kgf/m^2$ ), există relația :

$$1 \text{ kgf}/m^2 = 1 \text{ daN}/m^2.$$

Pentru fiecare material există o valoare limită admisibilă a rezistenței specifice: depășindu-se această limită, piesele se deformează plastic sau se distrug.

## 2. ELASTICITATEA

**Elasticitatea** este *proprietatea pe care o au corpurile de a-și schimba forma sub acțiunea unor forțe exterioare și de a reveni la forma inițială de îndată ce acțiunea acestor forțe a încetat.*

## 3. PLASTICITATEA

**Plasticitatea** (alungirea) este *proprietatea metalelor de a nu mai reveni la forma și dimensiunile inițiale după încetarea sollicitării prin forțe exterioare, rămânând permanent deformate.*

## 4. REZILIENȚA

**Reziliența** (rezistența la șoc) este *proprietatea materialelor de a rezista la șocuri mecanice* (sollicitări aplicate brusc).

Din punctul de vedere al rezilienței, metalele și aliajele lor se împart în *fragile* (cele care se sparg la șocuri de mică intensitate) și *tenace* (cele care rezistă la șocuri mai puternice).

## 5. TENACITATEA

**Tenacitatea** este *proprietatea metalelor de a se deforma mult înainte de rupere*, având proprietăți plastice pronunțate.

Rezultă, deci, că materialele tenace au o alungire mare. Oțelurile de mică rezistență, cuprul, alama, aluminiul etc. sînt metale tenace.

## 6. FRAGILITATEA

**Fragilitatea** este *proprietatea unor materiale, care au o alungire mică, de a se rupe brusc*, fără să se deformeze mult sub acțiunea unei sarcini.

Exemple de materiale fragile sînt: fonta, oțelurile de mare rezistență, sticla, pietrele, betonul etc.

## 7. FLUAJUL

**Fluajul** (curgere lentă) este *proprietatea materialelor de a se deforma lent și continuu în timp, sub acțiunea unei sarcini constante.*

## 8. REZISTENȚA LA UZURĂ

**Rezistența la uzură** este *proprietatea metalelor de a se opune la acțiunea de distrugere prin frecare a suprafeței lor.*

## 9. DURITATEA

**Duritatea** este *proprietatea metalelor de a rezista la o acțiune mecanică ce tinde să le distrugă suprafața, adică rezistența pe care o opune un metal la pătrunderea unui corp străin de o duritate superioară.*

Duritatea se determină prin apăsarea pe suprafața metalului a unei bile de oțel (metoda Brinell) sau a unui con de diamant (metoda Rockwell).

În tabela 2-1 sînt indicate rezistența specifică, alungirea (plasticitatea) și duritatea unor materiale.

## 10. REZISTENȚA LA OBOSEALĂ

**Rezistența la oboseală** reprezintă *rezistența materialelor la sarcini alternative repetate.*

Se măsoară în  $\text{kgf/mm}^2$  ( $\text{daN/mm}^2$ ). În general rupura materialului provocată prin oboseală nu este precedată de nici o deformare vizibilă.

În industria electrotehnică piesele mașinilor, aparatelor și instalațiilor electrice sînt supuse la diverse solicitări, deci trebuie să aibă cele mai diverse proprietăți. De exemplu, materialele conductoarelor liniilor aeriene trebuie să reziste la forțe de tracțiune, materialele contactelor aparatelor de conectare trebuie să fie dure și să reziste la uzură, materialele arborilor mașinilor electrice trebuie să reziste la forțele de torziune și încovoiere etc.

## D. PROPRIETĂȚI TEHNOLOGICE

Prin **proprietăți tehnologice** se înțeleg *proprietățile care arată modul de comportare a materialului la diferite metode de prelucrare, la cald sau la rece.*

Caracteristicile de turnare ale metalelor și aliajelor topite sînt determinate în esență de fluiditate și de contracție.

## 1. FLUIDITATEA

**Fluiditatea** este *proprietatea unui metal de a umple bine formele în care este turnat.*

## 2. CONTRACȚIA

**Contracția** este *proprietatea unui metal de a-și reduce volumul la răcire sau solidificare.*

Contracția influențează dimensiunile pieselor turnate. Cu cât contracția este mai mică, cu atât precizia pieselor turnate este mai mare. Pentru fontă, contracția liniară este de circa 1%, iar pentru oțel — de circa 2%.

## 3. FORJABILITATEA

**Forjabilitatea** este *proprietatea unor metale de a primi în stare solidă, fără fisurare, deformări permanente, când sînt ciocănite sau presate.*

Metalele prezintă caracteristici de forjabilitate atât în stare rece, cît și în stare caldă. O forjabilitate bună are oțelul în stare caldă. Alama și aliajele de aluminiu au o forjabilitate bună în stare rece, pe cînd bronzul prezintă o forjabilitate mai mică.

## 4. SUDABILITATEA

**Sudabilitatea** este *proprietatea metalelor de a permite realizarea de îmbinări durabile între două piese de aceeași compoziție sau de compoziții apropiate, prin încălzirea lor locală pînă în stare topită sau plastică, cu sau fără exercitarea unei apăsări mecanice.*

În esență, sudarea este o lipire prin topire a celor două piese care se îmbină, realizată la o temperatură foarte înaltă.

Cunoașterea sudabilității unui material este foarte importantă pentru determinarea modului de realizare și comportare a îmbinării sudate. Oțelul cu conținut de carbon (pînă la 0,3%) se sudează ușor, pe cînd fonta, cuprul, aluminiul și aliajele de cupru și aluminiu se sudează mai greu.

## 5. PRELUCRABILITATEA

*Prelucrabilitatea este proprietatea unor materiale de a putea fi prelucrate prin operații mecanice, în produse semifabricate sau finite, cu eforturi cât mai mici și consum cât mai redus.*

## 6. MALEABILITATEA

*Maleabilitatea este proprietatea unui metal de a putea fi transformat în foițe foarte subțiri, prin laminare.*

Metalele foarte maleabile sînt aurul, cuprul, oțelul etc.

## 7. DUCTILITATEA

*Ductilitatea este proprietatea pe care o are un metal de a putea fi tras în fire subțiri.*

Metale ductile sînt cuprul și aliajele de cupru, aluminiul și aliajele de aluminiu, oțelul etc.; din aceste metale se pot trage (trefila) sîrme cu diametrul foarte mic și chiar profile foarte subțiri.

## E. INCERCĂRI TEHNOLOGICE

*Încercările tehnologice sînt încercările la care sînt supuse materialele pentru a se stabili caracteristicile lor tehnologice.*

La aceste încercări nu se măsoară forțele cu care se acționează, ci se observă numai comportarea materialelor. Deoarece în industria electrotehnică se folosesc metode diferite de prelucrare a materialelor, care depind de complexitatea piesei și de materialul utilizat, încercările tehnologice care interesează sînt următoarele: *încercări la îndoire, încercări la îndoire repetată, la răsucire, la ambutisare, la turnare, la refulare.*

### 1. INCERCĂRI LA ÎNDOIRE

*Încercările la îndoire constau în îndoirea, încet și continuu la 180° a unor bare plate sau rotunde, confecționate din materialul respectiv numite probe.*

Încercarea se consideră corespunzătoare dacă bara nu prezintă fisuri după îndoire. Pe baza încercărilor la îndoire se pot aprecia deformările plastice pe care le suportă materialele.

## 2. ÎNCERCĂRI LA ÎNDOIRE REPETATĂ

Încercările la îndoire repetată arată capacitatea materialului de a se îndoi în două sensuri opuse, la  $180^\circ$  ( $90^\circ$  la stînga și  $90^\circ$  la dreapta).

Calitatea probei este dată de numărul de îndoiri la  $180^\circ$  care se pot executa cu materialul respectiv pînă la ruperea sa.

## 3. ÎNCERCĂRI LA RĂSUCIRE

Încercarea la răsucire constă din determinarea numărului de învîrturi pe care le poate suporta o sîrmă la răsucirea în jurul axei sale pînă la producerea rupturii.

## 4. ÎNCERCĂRI LA AMBUTISARE

Încercarea la ambutisare servește la aprecierea capacității de prelucrare prin ambutisarea tablei.

Ea se execută așezîndu-se tabla pe o matriță circulară, iar cu ajutorul unui poanson semisferic se aplică o presiune asupra tablei pînă cînd se obține o concavitate. Condiția este ca după ambutisare tabla să nu prezinte crăpături.

## 5. ÎNCERCAREA DE TURNARE

Prin încercările de turnare se determină comportarea la turnare a metalelor și aliajelor.

Acestea trebuie să aibă în stare fluidă o fluiditate mare (să curgă bine), să umple bine forma, să nu degaje gaze în timpul răcirii, să nu arunce stropi la turnare, să nu se contracte sau să crape la solidificare. Piesele turnate trebuie să aibă suprafețe curate și să nu prezinte sufluri (goluri formate de gaze, care se găsesc în masa metalului solidificat).

## 6. INCERCAREA LA REFULARE

**Încercarea la refulare** (la turtire) constă în turtirea axială a unei *eprovete cilindrice* până când aceasta ajunge de o anumită înălțime dată.

Această încercare se execută la cald sau la rece. Turtirea se poate efectua prin presare sau prin lovire (șoc). Condiția este ca după turtire epruveta să nu prezinte nici un defect de suprafață (de exemplu, fisuri).

### REZUMAT

Cunoașterea temeinică a **proprietățile metalelor și aliajelor** permite corecta utilizare a acestora în industria electrotehnică, la construcția mașinilor, aparatelor și instalațiilor electrice. Dintre acestea, cele mai importante pentru a fi reținute sînt următoarele :

**proprietățile fizice** : conductibilitatea electrică și termică, dilatarea, fuzibilitatea, densitatea ;

**proprietățile mecanice** : rezistența, elasticitatea, plasticitatea, reziliența, tenacitatea, fragilitatea, duritatea, rezistența la uzură, rezistența la oboseală ;

**proprietățile tehnologice** : fluiditatea, contracția, forjabilitatea, sudabilitatea, prelucrabilitatea, maleabilitatea, ductilitatea.

Principalele **încercări mecanice** ale metalelor și aliajelor folosite în electrotehnică sînt : încercările la îndoire, răsucire, ambustisare, turnare, refulare.

### Verificarea cunoștințelor

1. Să se compare proprietățile fizice ale diverselor metale și să se indice care este materialul conductor cu cea mai largă utilizare.
2. Dați cîteva exemple de aliaje folosite în industria electrotehnică și indicați utilizarea lor.
3. Arătați care sînt caracteristicile tehnologice ale materialelor și indicați cum se comportă oțelul, cuprul, alama, bronzul și aluminiul la diferite metode de prelucrare.
4. Arătați care este scopul încercărilor tehnologice și dați cîteva exemple.

# Capitolul III

## ALIAJE FIER-CARBON

### A. GENERALITAȚI

Proprietatea cea mai importantă a fierului este că se combină cu carbonul și formează aliaje cu calități importante : *fonte și oțeluri*.

Aceste două aliaje se deosebesc prin conținutul de carbon pe care îl au în compoziție. Astfel, oțelurile au un conținut de carbon pînă la 2,06%, iar fontele au un conținut de carbon între 2,06 și 4%.

Aliajele fier-carbon sînt cele mai folosite în industrie, fiindcă ele se obțin relativ ieftin, rezistă la agenții atmosferici și au caracteristici mecanice foarte bune în comparație cu alte metale și aliaje.

În țara noastră, datorită politicii P.C.R. de industrializare socialistă, producția de fontă și oțel a crescut într-un ritm continuu, în special ca urmare a dezvoltării industriei constructoare de mașini. În același timp s-a diversificat și producția de oțeluri aliate, pentru a răspunde cerințelor impuse de marile construcții industriale, de construcția centralelor electrice cu puteri de sute de MVA, de dezvoltarea industriei de prelucrare a metalelor.

### B. FONTE

#### 1. IMPORTANȚA FONTEI ȘI UTILIZAREA EI ÎN INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Fontele se topesc ușor (1 150...1 200°C), sînt fluide la această temperatură, ceea ce le asigură proprietăți bune de turnare, dar nu sînt forjabile.

Datorită caracteristicilor lor mecanice și magnetice, fontele se utilizează în industria electrotehnică sub formă de piese turnate în circuitele magnetice, ca de exemplu :

- carcasele și polii mașinilor și aparatelor, întregind circuitele magnetice ;
- scuturi, capace, bușe pentru mașini și transformatoare ;
- diverse piese ale electromagneților pentru macarale, pentru separatoare magnetice etc.

## 2. ELABORAREA FONTEI

### a. Materiile prime

Materiile prime folosite la elaborarea fontei sînt *minereurile de fier, combustibilii, fondanții și aerul.*

● **Minereurile de fier.** Fierul se găsește rar în stare nativă ; de obicei se găsește sub formă de combinații chimice cu oxigenul, sulful, carbonul și alte elemente. Minereurile de fier cele mai răspîndite sînt oxizii de fier și carbonații de fier. Minereurile de fier conțin de asemenea cantități mai mari sau mai mici de sulf, fosfor, mangan etc. și în plus ele sînt amestecate aproape totdeauna cu o serie de minerale argiloase, silicioase, și calcaroase care în procesul siderurgic sînt denumite *gangă* (sau *steril*).

● **Combustibilul** introdus în furnal servește la :

- *producerea căldurii* necesare pentru desfășurarea procesului tehnologic de topire ;
- *reducerea oxizilor de fier* din minereu ;
- *carburarea fierului și transformarea lui în fontă.*

Combustibilul utilizat este cocsul. Acesta se obține prin distilarea uilei la 800 ... 1 000°C. Cocsul arde fără flacără și dezvoltă o mare cantitate de căldură.

● **Fondanții** sînt substanțe care în timpul elaborării fontei *se combină cu sterilul și cu cenușa* provenită din arderea combustibilului și formează *zgura*, care se separă de metal. Deoarece zgura are o greutate specifică mai mică decît a metalului topit, ea se ridică la suprafața acestuia. Ca fondanți se utilizează de obicei calcarul, cuarțul sau alumina.

● **Aerul.** Pentru arderea cocsului sînt necesare cantități importante de aer încălzit în prealabil la temperatura de 600...800°C, în miște agregate speciale, denumite *caupere*.

## b. Furnalul

Furnalul este cuptorul care servește la elaborarea fontei. Furnalele sînt compuse din următoarele părți principale (fig. 3-1) :

— *cuva 1*, care este partea superioară a furnalului și care are forma unui trunchi de con cu baza mare în jos ;

— *etalajul 2*, care are de asemenea forma unui trunchi de con dar cu baza mare în sus ; aceste două trunchiuri de con sînt unite la bazele mari printr-un cilindru scurt, numit *pîntece* ;

— *vatra sau creuzetul 3*, care este partea inferioară a furnalului și se prezintă ca un cilindru în continuarea etalajului.

Înălțimea unui furnal obișnuit este 18...35 m. Cel mai înalt furnal ajunge pînă la 50 m.

Creuzetul are o serie de *guri de vînt 4*, prin care se suflă aer încălzit. La partea superioară a creuzetului există două *guri de evacuare* : *gura de evacuare 5 a zgurei și gura de evacuare 6 a fontei* care se găsește plasată sub prima (vezi fig. 3-1).

Pereții furnalului sînt căptușiți cu cărămizi refractare care rezistă la temperaturi înalte și nu sînt ușor atacate de agenții chimici. Căptușeala alcătuită din materiale refractare micșorează și pierderile de căldură în exterior.

Din punctul de vedere al rezistenței la agenții chimici, materialele refractare se clasifică în materiale acide, bazice și neutre.

Instalațiile din furnal sînt completate cu : caupere, recuperatoare de gaze și energie, compresoare pentru aer etc.

## c. Procesul de elaborare a fontei

Procesul din furnal este un proces continuu, așa că în el sînt prezente în același timp toate fazele de transformare a materiei prime, de la starea brută pînă la produsul final (fonta). De aceea, alimentarea furnalului se face continuu și uniform, materiile prime (minereul, cocsul și fondanții) introducîndu-se în straturi alternate.

● În furnal se deosebesc patru **zone** :

I — *zona de calcinare sau de preîncălzire* (150...400°C) ;

II — *zona de reducere indirectă* (400...800°C) ;

III — *zona de reducere directă* (800...1 500°C) ;

IV — *zona de topire* (1 500...1 800°C).

● În timpul funcționării, în furnal se formează doi **curenți în sens invers**, și anume :

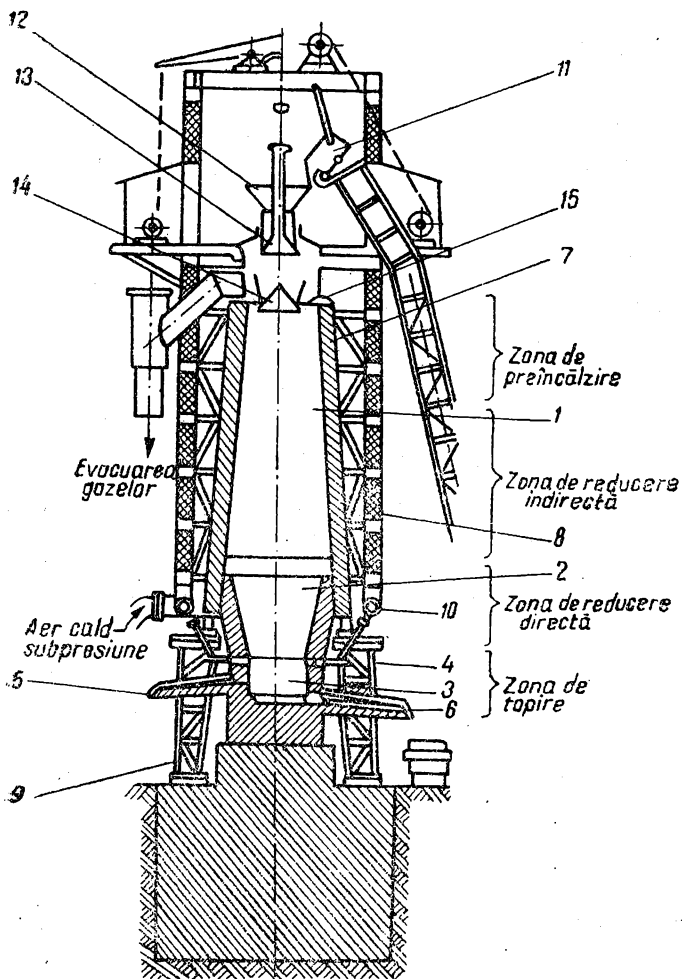


Fig. 3-1. Furnalul :

1 — cuvă ; 2 — etalaj ; 3 — vatră ; 4 — guri de vînt ; 5 — gură de evacuare a zgurei ; 6 — gură de evacuare a fontei ; 7 — perete ; 8 — construcție metalică de susținere ; 9 — coloane de susținere ; 10 — conductă de aer ; 11 — skip de încărcare ; 12 — pilnie de încărcare ; 13, 14 — con superior și inferior de închidere ; 15 — gură pentru evacuarea gazelor.

- *un curent ascendent* (de jos în sus), format de gazele produse în furnal;

- *un curent descendent* (de sus în jos), format din încărcătura introdusă pe gura de încărcare a furnalului.

**Curentul ascendent** se produce astfel: cocsul care se află în dreptul gurilor de vînt arde în prezența aerului cald introdus în furnal, formînd bioxidul de carbon și degajînd o mare cantitate de căldură. Temperatura se ridică pînă la 1 800°C.

Datorită excesului de carbon care există, are loc o reacție de reducere a bioxidului de carbon și transformarea lui în oxid de carbon. Reacția chimică are loc cu absorbție de căldură și deci temperatura scade. Gazele formate se îmbogățesc astfel continuu în oxid de carbon în mersul lor ascendent.

**Curentul descendent** se produce astfel: în zona I încărcătura pierde din umiditate, materialul uscîndu-se, iar carbonații existenți se descompun. În zona a II-a se produce o reducere intermediară a minereului de fier sub acțiunea oxidului de carbon. În zona a III-a, fierul lichid dizolvă o parte din carbon formînd fontă. O altă parte se combină chimic cu carbonul, formînd carbura de fier  $\text{Fe}_3\text{C}$  care se dizolvă în restul fierului. Odată cu absorbția carbonului, temperatura de topire a produsului scade pînă la 1 130°C, apărînd picături de fontă lichidă. În zona a IV-a, datorită temperaturii înalte are loc reducerea bioxidului de siliciu, eliberîndu-se siliciul. Anhidrida fosforică pune în libertate fosforul.

Sterilul minereului, cenușa și fondanții formează împreună zgura. Fonta și zgura care se formează datorită transformărilor din furnal se adună în creuzet.

Evacuarea fontei topite din creuzet se face străpungîndu-se dopul de argilă care astupă orificiul de scurgere.

Din furnale se obțin următoarele produse secundare:

- zgura — care are diverse utilizări în industria materialelor de construcții;
- gazul de furnal — care se utilizează pentru preîncălzirea aerului necesar furnalului.

### 3. CLASIFICAREA ȘI MARCAREA FONTELOR

Există în prezent peste 100 de mărci de fonte, fiecare avînd caracteristici adaptate unei anumite utilizări.

Dintre acestea, cele mai importante vor fi expuse în cele ce urmează.

## a. Fonta brută sau fonta de primă topire

Fonta elaborată în furnal nefiind uniformă și conținând impurități nu se toarnă direct în piese, ci sub formă de blocuri, și este denumită *fontă brută*. Acest aliaj al fierului conține, pe lângă carbon, și alte elemente de aliere, ca : siliciu, mangan, fosfor și sulf, rezultate în urma procesului metalurgic din furnal.

Fontele brute se clasifică la rîndul lor în :

— *fonte brute obișnuite* — dacă conținutul de siliciu și mangan este sub 5% pentru fiecare element ;

— *fonte brute aliate* — dacă conținutul de siliciu și mangan este mai mare de 5% pentru fiecare element.

● **Fonte brute obișnuite** se folosesc în turnătorie pentru obținerea fontelor cenușii (fontele pentru turnătorie, simbol FK), a fontelor maleabile (fonte speciale pentru turnătorie, simbol Fm) și pentru elaborarea oțelului (fonte pentru afinare simbol FAK — cu un conținut mic de siliciu de 0,3...1,5%).

● **Fontele brute aliate** se folosesc ca adaos la elaborarea oțelurilor speciale și se clasifică în fonte brute silicioase (simbol FS), manganoase sau oglindă (simbol FOG) și silico-manganoase (simbol SFOG).

## b. Fonta turnată în piese sau fonta de a doua topire

Fonta brută de turnătorie se retopește în cuptoare speciale, denumite *cubilouri* împreună cu fontă veche și fondanți, obținîndu-se *fonta turnată în piese* sau *fonta de a doua topire*.

În industria electrotehnică se folosește fonta de a doua topire, din care se toarnă piesele dorite.

Prin retopirea fontei brute se obțin trei varietăți de fontă :

— *fontă cenușie* ;

— *fontă albă* ;

— *fontă maleabilă*.

● **Fonta cenușie** are un conținut de carbon mai mare de 2,06%, dintre care cea mai mare parte este sub formă de grafit (2...3%).

*Grafitul* lamelar, repartizat uniform în masa metalică, determină culoarea cenușie pe care o are rupțura unei piese turnate din acest sort de fontă, mărește fluiditatea fontei, dar și fragilitatea ei.

În fontă se mai află și alte elemente, ca : *siliciu* (0,5...3,5%), care îmbunătățește caracteristicile de turnare, favorizînd transformarea carbonului în grafit ; *sulf* (0,08...0,12%) care mărește duritatea, dar și fragilitatea fontei și micșorează fluiditatea ; *mangan* (0,5...0,8%) care micșorează acțiunea dăunătoare a sulfului, deoarece se com-

bină cu el; fosfor (0,2...1%), care micșorează temperatura de topire și contracția, dar are dezavantajul că mărește duritatea și fragilitatea.

Elementele de aliere Ni, Cr, Mo, Cu etc., introduse în fontă în procente până la 5% nu modifică structura fontei.

Fonta cenușie este materialul principal pentru fabricarea pieselor turnate din fontă folosite în industriile constructoare de mașini și electrotehnică.

Condițiile generale pentru fonta cenușie turnată în piese sînt stabilite în standarde, care prevăd mai multe calități de fontă cenușie. Notarea acestei fonte se face cu ajutorul inițialelor Fc, urmate de două cifre, care indică rezistența minimă de rupere la tracțiune, exprimată în kilograme-forță pe milimetru pătrat ( $\text{daN/mm}^2$ ). În funcție de domeniul de utilizare se deosebesc patru clase de fontă cenușie: ordinară, normală, superioară și specială. În tabela 3-1 se dau principalele proprietăți și domeniile de utilizare ale fontei cenușii.

● **Fonta albă** este o fontă cenușie răcită repede, ceea ce împiedică separarea carbonului sub formă de grafit. Ea are un conținut de (2,3...3,1%) carbon, (0,6...1,4%) siliciu, 0,08% sulf, (0,3...0,5%) mangan și pînă la 0,2% fosfor. Ea are o fluiditate mai mică decît a

Tabela 3.1

Calități de fontă cenușie

| Categoria  | Simbolul | Rezistența minimă la tracțiune ( $\text{daN/mm}^2$ ) | Domenii de utilizare                                                                                                                          |
|------------|----------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ordinară   | Fc 00    | —                                                    | piese nesolicitate                                                                                                                            |
| normală    | Fc 12    | 12                                                   | piese puțin solicitate; de exemplu, cutii de borne, capete termice pentru cabluri                                                             |
|            | Fc 15    | 15                                                   |                                                                                                                                               |
|            | Fc 18    | 18                                                   |                                                                                                                                               |
| superioară | Fc 21    | 21                                                   | piese supuse la solicitări: de exemplu, carcasele mașinilor și aparatelor electrice                                                           |
|            | Fc 24    | 24                                                   |                                                                                                                                               |
| specială   | Fc 28    | 28                                                   | piese supuse la solicitări mai însemnate: de exemplu, carcasele mașinilor și aparatelor destinate a funcționa în medii cu pericol de explozie |
|            | Fc 32    | 32                                                   |                                                                                                                                               |

fontei cenușii, datorită conținutului mai mic de carbon și siliciu, și o contracție mai mare. Se folosește pentru obținerea fontei maleabile.

● **Fonta maleabilă** se obține din fontă albă, căreia i se aplică un tratament de maleabilizare prin încălzire prelungită la temperatura de 900...950°C. Se realizează astfel o îmbunătățire sensibilă a rezistenței mecanice la solicitări prin șocuri.

Fonta maleabilă se notează cu inițialele Fm, urmate de două cifre care reprezintă rezistența minimă de rupere la tracțiune, exprimate în kilograme-forță pe milimetru pătrat (daN/mm<sup>2</sup>).

Calitățile mecanice superioare ale fontei maleabile au determinat folosirea ei pe scară întinsă în construcția de mașini, în special pentru turnarea pieselor mici sau cu pereți subțiri sau supuse la sarcini complexe și șoc exemple: piese mărunte, puternic solicitate din construcția întreruptoarelor și a dispozitivelor de acționare, cleme de prindere pentru îmbinări ale conductoarelor pe linii aeriene de înaltă tensiune etc.).

## C. OȚELURI

### 1. IMPORTANȚA OȚELULUI ȘI UTILIZAREA LUI ÎN INDUSTRIE

Spre deosebire de fontă, care este dură și fragilă, neputând fi forțată sau laminată, oțelul are caracteristici mecanice superioare, forjându-se și laminându-se foarte bine. El poate fi de asemenea turnat în condiții foarte bune. Oțelul se assemblează foarte bine prin sudură, ceea ce la fontă nu este posibil.

Oțelul se elaborează din fontă, prin reducerea conținutului de carbon la 0,04...2,06%; de asemenea, se reduce conținutul de mangan și siliciu. Conținutul de fosfor și sulf trebuie redus la minimum posibil, deoarece acestea sînt elemente foarte dăunătoare oțelului.

În industria electrotehnică, oțelul este utilizat ca material de construcție în locul fontei, acolo unde se cere o mai mare rezistență mecanică sau o greutate mai mică a piesei construite.

Oțelurile nemagnetice sînt întrebuintate la fabricarea bușelor și flanșelor prin care trec conductoare în care circulă curenți alternativi intensi, a buloanelor de strîngere pentru miezurile transformatoarelor

de forță, a tablourilor metalice de distribuție, a bandajelor de la rotoarele mașinilor electrice, a axelor nemagnetice ale mașinilor electrice speciale etc.

Conductoarele active ale liniilor aeriene se fabrică în mod curent din oțel pentru sarcini electrice mici. Conductoarele de protecție se execută în general din oțel.

Oțelurile sînt utilizate și la fabricarea magnetilor permanenți.

## 2. ELABORAREA OȚELULUI

Pentru obținerea oțelului, fontele sînt supuse procesului de afinare. Prin afinare se înțelege oxidarea parțială a elementelor componente din fontă (carbon, siliciu, mangan și uneori fosfor). Produsele oxidării, în stare solidă sau lichidă, trec în zgură sub formă de oxizi ( $MnO$ ,  $SiO_2$ ), iar cele gazoase ies în atmosferă din cuptor sub formă de oxizi ( $CO_2$ ,  $CO$  etc.).

Procedeele industriale de elaborare a oțelului sînt :

- *procedeul de elaborare în convertizoare* (procedeul — Bessemer și procedeul — Thomas) ;
- *procedeul de elaborare în cuptoare Martin* ;
- *procedeul de elaborare în cuptoare electrice* ;
- *procedeul de elaborare în creuzet*.

## 3. CLASIFICAREA ȘI MARCAREA OȚELURILOR

Există un număr foarte mare de calități de oțeluri, care au întrebuințări diferite în funcție de proprietățile lor. Ele se pot clasifica *după compoziția chimică* — în oțeluri carbon și oțeluri aliate — sau *după utilizare* — în oțeluri de construcție, oțeluri de scule și oțeluri speciale.

### a. Oțelurile carbon

Acestea sînt aliaje ale fierului cu carbonul. Pe lângă carbon mai există și alte elemente de aliere (mangan, siliciu, sulf, fosfor), însă în procente reduse și care nu sînt adăugate intenționat. Manganul și siliciul nu sînt elemente dăunătoare pentru oțel, în schimb fosforul și

sulful fac oțelul fragil la cald, deci îi micșorează posibilitatea de forjare. Se deosebesc : *oțeluri carbon obișnuite și oțeluri carbon de calitate.*

● **Oțelurile carbon obișnuite** sînt folosite în mod curent fără tratare termic la construcții metalice obișnuite.

Aceste oțeluri se notează cu inițialele OL, urmate de un număr de două cifre, care exprimă rezistența minimă de rupere la tracțiune, exprimată în kilograme forță pe milimetru pătrat ( $\text{daN/mm}^2$ ).

● **Oțelurile carbon de calitate** (oțeluri carbon nealiat, dar cu un grad de puritate ridicat) sînt folosite în construcții mecanice, pentru piesele supuse la uzură și solicitări mai mari și care, în general, se pot trata termic în vederea îmbunătățirii calității lor. Ele se notează cu simbolul OLC, urmat de un număr de două cifre, care exprimă în sutimi, procentul de carbon.

De exemplu OLC 45 reprezintă un oțel de calitate, avînd 0,45% C.

## **b. Oțelurile aliate**

În afară de elementele de bază (fier și carbon) și de elementele în-  
tîmplătoare, oțelurile aliate conțin în plus unul sau mai multe elemente  
ca adaosuri de aliere (crom, nichel, mangan, wolfram, molibden, vana-  
diu etc. introduse în mod voit ; acestea dau proprietăți superioare din  
punct de vedere mecanic, chimic sau tehnologic oțelului aliat.

Diferitele adaosuri de aliere influențează proprietățile oțelurilor aliate.  
Astfel cromul, nichelul și wolframul măresc rezistența la rupere a oțel-  
ului.

Cromul în proporții mari (peste 12%) sporește mult rezistența oțel-  
ului la coroziune în apă și în acizi. Wolframul și molibdenul îmbună-  
tătesc rezistența la temperaturi ridicate ale oțelului.

Cele mai importante oțeluri aliate sînt denumite după elementul  
principal de aliere. Astfel se pot deosebi : *oțeluri mangan, oțeluri crom* etc..

## **c. Oțelurile de scule**

Acestea servesc la confecționarea sculelor care se utilizează la pre-  
lucrarea diferitelor materiale metalice și nemetalice.

#### d. Oțelurile cu proprietăți speciale

Dintre cele mai folosite oțeluri cu proprietăți speciale se amintesc :

- oțeluri cu proprietăți magnetice speciale ;
- oțeluri rezistente la uzură ;
- oțeluri inoxidabile ;
- oțeluri de mare rezistivitate și stabilitate la temperaturi înalte etc.

Compoziția și proprietățile diverselor aliaje de acest tip se studiază în capitolele următoare.

În tabela 3-2 se dau compoziția chimică și domeniul de utilizare pentru un mare număr de oțeluri aliate.

Tabela 3.2

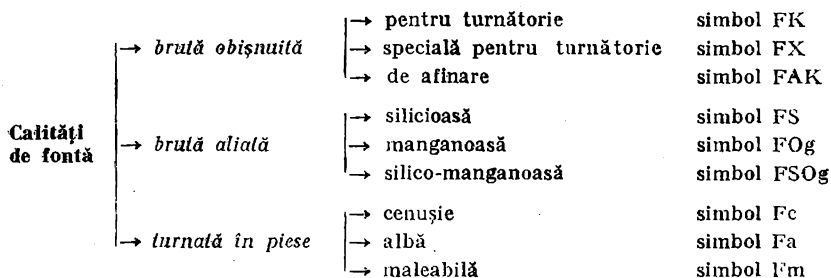
**Compoziția chimică și domeniul de utilizare  
pentru oțelurile aliate folosite în electrotehnică**

| Denumirea                                         | Compoziția chimică                       | Domeniul de utilizare                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oțel manganos                                     | 0,8...2% Mn                              | Piese forjate mari (rotoare)                                                                                                                   |
| Oțel nichel                                       | 1,5...5% Ni                              | Arbori, roți dințate, glisieră, piese rotitoare pentru mașini cu viteză mare de rotație, carcase pentru mașini expuse vibrațiilor și șocurilor |
| Oțel crom-nichel                                  | 0,25—4,5% Ni<br>0,2...1,3% Cr            |                                                                                                                                                |
| Oțel crom-nichel-mangan (proprietăți nemagnetice) | 10...25% Mn<br>3...20% Cr<br>8...30% Ni  |                                                                                                                                                |
| Oțel nichel-vanadiu                               | 2,75% Ni+0,7% V                          | Piese deosebit de sollicitate, scule, arcuiri                                                                                                  |
| Oțel nichel-molibden                              | 2,65% Ni+0,4% Mo                         |                                                                                                                                                |
| Oțel silicios                                     | 0,2% Si<br>0,4...0,55 Mn<br>0,1...0,3% C | Oțel moale turnat și laminat folosit la carcasele, scuturile și polii mașinilor electrice                                                      |
|                                                   | 0,3...5% Si<br>0,1...0,3% Mn<br>0,05% C  | Tabla de oțel electrotehnic pentru piese ștanțate                                                                                              |
| Oțel cobalt                                       | 5...40% Co                               | Magneți permanenți                                                                                                                             |
| Oțel wolfram                                      | 0,5...10% W                              | Burghie, scule așchietoare, matrițe, magneți permanenți                                                                                        |

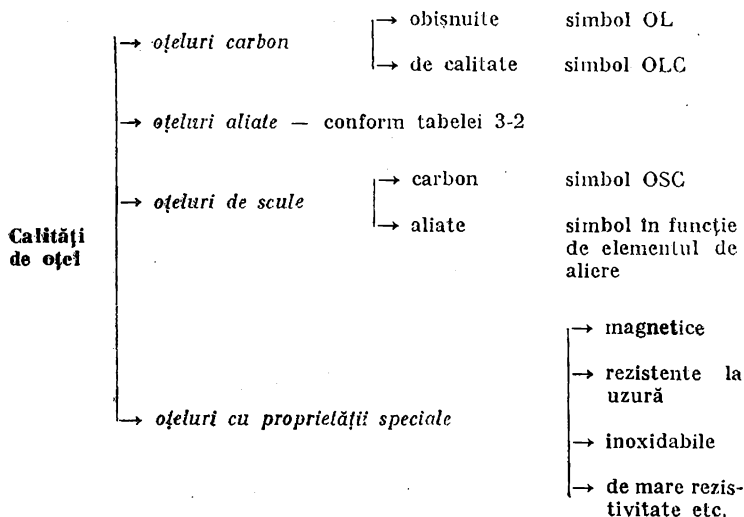
## REZUMAT

**Aliajele fierului cu carbonul** ↗ *fonta*, care conține între 2,06 și 4% carbon ;  
 ↘ *oțelul*, care conține până la 2,06% carbon

Fonta se obține în furnale din minereuri de fier, cocs, fondanți și aer



Oțelul se elaborează din fontă în cuptoare speciale prin procedeul de afinare



## **Verificarea cunoștințelor**

- 1.** Arătați care sînt întrebuințările fontei și ale oțelului în industria electrotehnică.
- 2.** Cum influențează diversele elemente de aliere aflate în fontă caracteristicile mecanice și tehnologice ?
- 3.** Arătați care sînt calitățile de fontă și oțel folosite pentru obținerea diverselor piese necesare mașinilor, aparatelor și instalațiilor electrice.
- 4.** Ce tipuri de oțeluri aliate cunoașteți ?
- 5.** Cum se simbolizează diversele calități de fonte și oțeluri ?

## Capitolul IV

### MATERIALE CONDUCTOARE

Așa cum s-a arătat în capitolul I, materialele conductoare asigură trecerea curentului electric în circuitele electrice și se caracterizează prin valori ale rezistivității electrice cuprinse între  $10^{-8}$  și  $10^{-3} \Omega \cdot m$ .

Aceste materiale pot fi împărțite în două categorii, în funcție de valoarea rezistivității, și anume :

● *materiale conductoare de înaltă conductivitate electrică*, avînd valori ale rezistivității cuprinse între  $10^{-8}$  și  $10^{-6} \Omega \cdot m$ .

Din această categorie fac parte materialele folosite pentru fabricarea conductoarelor și cablurilor din instalații electrice, ca și materialele pentru contacte electrice.

● *materialele conductoare de înaltă rezistivitate electrică*, avînd valori ale rezistivității cuprinse între  $10^{-6}$  și  $10^{-3} \Omega \cdot m$ .

Din această categorie fac parte materialele folosite pentru fabricarea reostatelor, rezistențelor de precizie utilizate în construcția aparatelor electrice de măsurare și a rezistențelor pentru aparatele electrice de încălzit.

#### A. MATERIALE CONDUCTOARE DE ÎNALTĂ CONDUCTIVITATE

##### 1. PROPRIETĂȚI

Pentru a putea fi folosite la fabricarea conductoarelor electrice, a cablurilor și a contactelor, materialele conductoare, în afară de o *rezistivitate electrică redusă*, trebuie să mai aibă următoarele proprietăți :

- *conductibilitate termică cît mai mare ;*
- *caracteristici mecanice bune ;*
- *caracteristici tehnologice bune (în special maleabilitatea și ductilitatea) ;*
- *rezistență la coroziunea provocată de factorii atmosferici.*

Aceste materiale trebuie să se poată procura în cantitate cât mai mare și cu un preț de cost cât mai redus.

Cele mai utilizate materiale folosite în industria electrotehnică sînt cuprul, aluminiul și oțelul.

## 2. SOLICITĂRI LA CARE SÎNT SUPUSE MATERIALELE PENTRU CONTACTE

Contactele electrice sînt supuse în timpul funcționării unor solicitări speciale. De aceea, materialele din care sînt confecționate trebuie să aibă pe lîngă proprietățile enumerate mai sus, și unele proprietăți suplimentare. Aceste proprietăți depind de tipul constructiv al contactelor.

Contactele pot fi clasificate în : *contacte permanente și contacte intermitente*.

### a. Contacte permanente (sau fixe)

În acest caz, piesele de contact sînt fixate permanent între ele. Fixarea se poate realiza *pe cale mecanică* sau *prin lipire* (sudare).

● **Contacte fixe realizate pe cale mecanică.** Pentru fixare se folosesc nituri sau șuruburi ca în cazul barelor colectoare, a bornelor de racord etc. O importanță mare pentru acest fel de contacte o are *rezistența de trecere*. Aceasta se datorește peliculei de oxid ce acoperă suprafețele de contact și care are rezistivitate mai mare decît a metalului, ca și asperităților de pe suprafața de contact, care nu permit stabilirea contactului pe întreaga suprafață. Din această cauză materialele folosite la contacte trebuie să aibă oxizi care sînt buni conducători de electricitate, iar pelicula de oxid să poată fi îndepărtată ușor, să aibă duritate mică și rezistență la compresiune mică.

● **Contactele fixe realizate prin sudarea sau lipirea conductoarelor.** În acest caz, materialele folosite trebuie să poată fi sudate sau lipite cu ușurință.

### b. Contacte intermitente

Contactele intermitente sau amovibile pot fi închise sau deschise în timpul funcționării și deci contactul este stabilit numai temporar. La aceste contacte, unele părți sînt mobile și celelalte fixe. Acesta este cazul contactelor întrerupătoarelor, contactoarelor, prizelor, aparaturii

tajului de pornire și reglare, aparatajului pentru măsurări electrice etc. După rolul pe care îl au în transmiterea curentului, contactele amovibile se împart în : *contacte principale, contacte de rupere și contacte alunecătoare.*

● **Contactele principale** au rolul de a conduce curentul electric când circuitul este închis. Aceste contacte sînt supuse *uzurii mecanice* în momentul închiderii și *acțiunii mediului înconjurător* când sînt deschise. Materialele folosite pentru aceste contacte sînt cuprul și aliajele sale.

● **Contactele de rupere** au rolul de a interveni numai în perioada scurtă de stabilire și întrerupere a circuitelor electrice. Aceste contacte sînt supuse *uzurii prin arcul electric* ce apare la întreruperea și stabilirea circuitelor. Materialele folosite pentru aceste contacte trebuie să aibă temperatura de topire și volatilizare mare, stabilitate mare la coroziune și la acțiunea arcului electric. Platina, argintul, aurul, wolframul, molibdenul, cuprul, nichelul și diverse aliaje îndeplinesc aceste condiții.

● **Contactele alunecătoare**, formate din perii și inele colectoare, sînt folosite în construcția mașinilor electrice. Ele sînt supuse *uzurii mecanice* datorită frecării periiilor, *acțiunii arcului electric* și a *mediului înconjurător*. În prezent se utilizează pentru colector cuprul tras la rece, pentru inele — cuprul sau aliajele sale, iar pentru perii — cărbunele.

### 3. CUPRUL

#### a. Proprietăți

Cuprul este un metal de culoare roșcată, caracteristică. Densitatea lui este de 8,9 kg/dm<sup>3</sup>.

Ca material conductor, cuprul prezintă *conductivitate electrică* și *termică mare*, ocupînd locul al doilea printre celelalte metale, după argint.

Cuprul este unul dintre metalele cele mai *ductile* și *maleabile* și permite ca prin laminare și tragere să se confecționeze sîrme, benzi, foi de table etc. de diferite secțiuni și de dimensiuni foarte mici (sîrme de cupru cu diametrul pînă la 0,015 mm). Această proprietate este importantă la fabricarea sîrmelor pentru conductoarele electrice.

Cuprul este un metal care se poate turna în bune condiții. El se *topește la 1 083°C.*

*În aer liber, cuprul se oxidează* formînd compuși rău conducători de electricitate și care se înlătură greu de pe suprafața de contact.

Cuprul este *mai rezistent la coroziune decât oțelul*.

Deoarece la umezeală se produc procese mai rapide de coroziune, cu formarea unei pelicule verzi, cuprul trebuie păstrat întotdeauna în magazii uscate.

Cuprul se *lipește și se sudează cu ușurință*.

Dezavantajul principal al cuprului îl constituie prețul său ridicat.

## b. Varietăți de cupru

Caracteristicile mecanice ale cuprului depind în foarte mare măsură de tratarea lui termică.

● După tragere — care se execută la rece — se obține **cuprul tare** (dur), care are o rezistență mecanică destul de mare (rezistența la întindere este de aproximativ  $40 \text{ daN/mm}^2$ ) și o alungire mică la întindere (de numai  $1...2\%$ ). La îndoire, sîrma de cupru tare se arcuiește mult.

● Dacă cuprul tare este supus recoacerii la temperatura de  $330...350^\circ\text{C}$ , după răcire se obține un **cupru moale**, cu rezistență mică la întindere (circa  $20 \text{ daN/mm}^2$ ) și cu alungire mare la întindere (circa  $80...40\%$ ).

Cuprul tare se notează cu simbolul „t”, cel moale cu „m”, iar cel intermediar (jumătate tare, cu o rezistență de circa  $25 \text{ daN/mm}^2$  și o alungire sub  $15\%$ ) cu simbolul „ $\frac{1}{2}$  t”.

## c. Utilizări

Deosebirile între proprietățile cuprului tare și cele ale cuprului moale determină domeniul lor de utilizare în electrotehnică. În cazul în care este necesar un conductor cu foarte mare rezistență mecanică, de exemplu în cazul conductoarelor pentru linii aeriene și transport de energie electrică, se utilizează cupru tare. Pentru confecționarea conductoarelor multifilare izolate sau a conductoarelor pentru bobinaje, se întrebuițează sîrma de cupru moale, deoarece, în aceste cazuri, sîrma trebuie să fie flexibilă.

Cuprul tare este utilizat pentru barele instalațiilor de distribuție și pentru lamele de colector la mașinile electrice. Cuprul moale se întrebuițează sub formă de sîrmă rotundă sau conductor dreptunghiular, în special pentru bobinajele mașinilor și aparatelor electrice.

Contactele de cupru se cositoresc sau se argintează pentru a se obține contacte fixe de bună calitate.

Cuprul poate fi folosit la contactele principale ale contactoarelor de joasă tensiune, ca și la întreruptoarele în ulei. Deoarece la curenți mari de întrerupere contactele de cupru se sudează datorită acțiunii termice a arcului electric, acestea nu se utilizează în instalațiile de putere mare.

Industria electrotehnică folosește cuprul livrat sub formă de sîrmă, bare, table, benzi și profile laminate.

În țara noastră, industria electrotehnică produce un mare sortiment de conductoare izolate și cabluri. *Întreprinderea de cabluri și materiale electroizolante (I.C.M.E.)* — București se modernizează și își mărește capacitatea de producție pentru a face față cerințelor crescînde impuse de dezvoltarea producției industriei electrotehnice.

#### 4. ALIAJELE CUPRULUI

Aliajele cuprului se numesc *alame* și *bronzuri*.

##### a. Alamele

Acestea sînt aliaje ale cuprului cu zincul, care au un conținut de cupru pînă la 72%. Dacă conținutul de cupru al alamelor este mai mare de 80%, atunci ele se numesc *tombacuri* și au o culoare mai roșcată decît alamele care conțin mai mult zinc.

● **Proprietăți.** Zincul din alamă mărește rezistența și plasticitatea aliajului. Astfel, alama este maleabilă și ductilă. Ea poate fi turnată, forjată, laminată la cald și la rece sub formă de tablă, bare etc.

Alamele au o rezistență mai mare la oxidare și proprietăți mecanice superioare cuprului.

● **Varietăți de alamă.** Alamele se notează cu inițialele Am, urmate de un număr indicînd conținutul de cupru. Astfel, Am 63 este o alamă conținînd 63% Cu.

Se folosesc și alame speciale, care, pe lîngă zinc, mai conțin și alte elemente (Mn, Fe, Al).

Ca semifabricate, alamele se prelucreează sub formă de table, benzi, bare rotunde, pătrate și dreptunghiulare, țevi, sîrme etc.

După tragerea executată la rece, se obține *alamă tare* sau *foarte tare*, care supusă unui tratament termic poate deveni *jumătate tare* sau *moale*.

● **Utilizări.** Alama se folosește în electrotehnică pentru confecționarea pieselor din circuitul de curent a căror solicitare electrică este redusă în raport cu solicitările mecanice, ca: borne pentru tablouri

de distribuție, socluri și capace pentru siguranțe fuzibile, dulii pentru lămpi, papuci de cablu. Din sîrmă de alamă se confecționează șuruburi, nituri etc.

Alama este de asemenea folosită pentru piese de forme mai complicate, care se realizează mai ușor prin turnare, și pentru confecționarea pieselor care trebuie să reziste la coroziune.

## b. Bronzurile

Bronzul este un aliaj de cupru cu 1...20% staniu. Se numesc de asemenea „bronzuri” și aliajele cuprului cu alte metale (altele decît zincul).

● **Proprietăți.** Bronzul prezintă în general bune proprietăți arcuitoare, rezistență la uzură și la coroziune, fiind folosit pentru realizarea de piese arcuitoare, membrane elastice și lagăre, precum și pentru anumite piese solicitate la acțiunea aerului marin. Bronzul este mai scump decît alama și se folosește numai acolo unde piesele din alamă nu corespund.

● **Varietăți de bronz.** *Bronzurile cu staniu* sînt aliaje cupru-staniu cu conținut de staniu pînă la 14%. Ele au caracteristici mecanice bune și rezistență mare la frecare. Rezistența de rupere la tracțiune a lor este cuprinsă între 15 și 20 daN/mm<sup>2</sup> și duritatea Brinell între 55 și 85 de unități. Aceste aliaje au o mare elasticitate, însă conductivitatea scade sensibil cu creșterea conținutului de staniu.

■ Bronzul cu staniu se utilizează în electrotehnică turnat în blocuri și în piese (simbol Bz 14 T și Bz 10 T, avînd 14%, respectiv 10%, staniu) și laminat sub formă de table, benzi, bare, sîrme (simbol Bz 6 avînd 6% staniu). El se folosește la fabricarea accesoriilor pentru instalații electrice, ca : papuci, cleme de diferite tipuri, borne etc.

*Bronzurile de aluminiu* sînt bronzuri speciale, la care conținutul de aluminiu poate ajunge pînă la 10%. Acestea au căpătat o largă răspîndire datorită caracteristicilor mecanice superioare (rezistența de rupere la tracțiune este de 35...60 daN/mm<sup>2</sup>, iar duritatea Brinell este de 70...140 unități) și a faptului că aluminiul este mai ieftin decît staniul. De asemenea, rezistența la coroziune este foarte mare. Se livrează turnate în blocuri (simbol Bz Al 10 T avînd 10% aluminiu) sau laminate (simbol Bz Al 5) sub formă de table, bare etc. Se folosesc în construcția mașinilor și aparatelor electrice la fabricarea pieselor supuse frecării, ca : lagăre, glisiere etc.

*Bronzurile cu cadmiu* au rezistența de rupere aproximativ de două ori mai mare decât aceea a cuprului, fără să prezinte o scădere prea mare a conductivității. Bronzul cu 0,9% cadmiu se utilizează la fabricarea conductoarelor aeriene, a conductoarelor de contact pentru troleibuz, a lamelelor pentru colectoare, pentru piese de contact, adică în cazurile în care interesează, pe lângă caracteristicile mecanice, și conductivitatea electrică.

*Bronzul cu beriliu* are caracteristicile mecanice îmbunătățite, fără să prezinte o scădere prea pronunțată a conductivității și, de asemenea, are o deosebită constanță în timp a caracteristicilor sale. Se remarcă printr-o foarte bună elasticitate.

Bronzurile cu beriliu tratate termic capătă proprietăți apropiate de alte oțeluri de arc ( $150 \text{ daN/mm}^2$  și 400 unități Brinell, o rezistență mare de oboseală). Cu adaos de Ni caracteristicile lui se îmbunătățesc.

Bronzul cu 2...2,5% Be se întrebuițează pentru fabricarea conductoarelor de mare rezistență mecanică, a arcurilor conductoare de curent, a contactelor pentru prize, a contactelor alunecătoare, a clemelor cuțit de întreruptoare, a electrozilor pentru sudură prin puncte.

În construcția de aparate de precizie (relee, microîntreruptoare, aparate de măsurat) se utilizează arcuri de bronz cu beriliu (datorită caracteristicilor sale constante în timp).

## 5. ALUMINIUL

Alături de cupru, aluminiul are cea mai largă utilizare ca material bun conducător de electricitate, datorită faptului că are prețul de cost relativ scăzut în comparație cu argintul, care are cea mai bună conductivitate. În ultimele decenii, importanța utilizării aluminiului în industria electrotehnică a crescut continuu și într-un ritm accelerat, el înlocuind în foarte multe domenii cuprul, față de care este mai ieftin și mai ușor de procurat.

Combinatul de aluminiu de la Slatina asigură materia primă atât de necesară industriei electrotehnice.

### a. Proprietăți

Aluminiul este un metal de culoare albă-argintie, având proprietăți electrice, mecanice și termice bune. Aluminiul este un bun conducător de căldură și electricitate (conductivitate electrică  $37 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ ). Este cel mai ușor dintre metalele utilizate în industrie (densitate  $2,7 \text{ kg/dm}^3$ ). Având un punct de topire scăzut ( $659^\circ\text{C}$ ), se toarnă ușor, umplând bine formele.

În aer, se oxidează numai la suprafață, acoperindu-se astfel cu un strat protector de oxid. Pelicula de oxid, avînd o rezistivitate electrică mare, împiedică realizarea contactului dintre conductoare. De asemenea, ea îngreuiază sudarea și lipirea conductoarelor.

**Important !** În contact cu cuprul și în prezența umidității, aluminiiu manifestă fenomene de coroziune galvanică, care pot duce la distrugerea treptată a piesei de aluminiiu. De aceea, la efectuarea îmbinării dintre piesele de cupru și piesele de aluminiiu trebuie luate precauții speciale, cea mai importantă fiind aceea de a evita pătrunderea umidității în zona de contact dintre cele două metale.

Aluminiiu este foarte moale, puțin rezistent la lovituri și zgîrieturi, la solicitările la forțe de tracțiune și forfecare.

Aluminiiu poate fi prelucrat ușor prin laminare, tragere și forjare.

Ca și cuprul, aluminiiu obținut după tragere și după alte prelucrări la rece este deosebit de tare ; el devine însă moale dacă este supus recoacerii. Astfel, rezistența la tracțiune este de  $9 \text{ daN/mm}^2$  în stare moale și de  $17 \text{ daN/mm}^2$  în stare tare.

## b. Utilizări

În electrotehnică, se folosește aluminiiu turnat (sub formă de aliaje), aluminiiu laminat și trefilat.

Din aluminiiu foarte pur, cu cel mult 0,05% impurități, se laminează foițe foarte subțiri, pentru fabricarea condensatoarelor electrolitice și cu hîrtie.

Aluminiiu laminat în foi se folosește la învelișurile de protecție ale cablurilor electrice, iar tablele de aluminiiu se folosesc la confecționarea carcaselor, papucilor de cablu etc.

Barele de aluminiiu cu secțiune dreptunghiulară, rotundă sau tubulară, sînt utilizate în instalații electrice ca bare colectoare. Sîrma de aluminiiu folosește la conductoare pentru instalații electrice interioare, la conductoare pentru bobinaj și la conductoare multifilare de oțel-aluminiiu.

## 6. ALIAJE DE ALUMINIU

### a. Aliaje de aluminiiu pentru turnare

În construcția căilor de curent ale aparatelor electrice, aluminiiu este relativ puțin folosit (îndeosebi datorită rezistenței mecanice reduse și a dificultăților de realizare a unor contacte electrice de bună calitate) ; în schimb, el este din ce în ce mai mult folosit — sub formă de aliaje

de aluminiu turnate — pentru realizarea diferitelor elemente ale construcției mecanice a aparatelor.

Avantajele principale ale folosirii pieselor din aluminiu și aliaje de aluminiu turnate sînt :

— *greutatea mai mică* (circa  $\frac{1}{2}$  din greutatea pieselor echivalente din fontă), ceea ce are o mare importanță îndeosebi la piese ale mecanismelor ;

— *se toarnă ușor*, chiar în forme complicate și cu pereți subțiri ;

— *precizie mare a pieselor turnate*, ceea ce permite să se renunțe la unele lucrări de finisare și să se ușureze prinderea pentru prelucrări ulterioare pe mașini automate și semiautomate ;

— *viteză mare de prelucrare prin așchiere*, cu solicitare mai mică a cuțitelor și a mașinilor (dacă se folosesc aliaje pentru prelucrare prin așchiere) ;

— *rezistență bună la coroziune* ;

— *conductibilitate electrică și termică mult mai bune decît ale fontei*.

● **Aliajele de aluminiu cu mangan** au o bună fluiditate, contracție mică, duritate mică. Se folosesc la turnarea coliviilor motoarelor asincrone.

● **Aliajele aluminiu-siliciu-cupru** au rezistență mare la uzură, fiind folosite la fabricarea bușelor.

● **Aliajele aluminiu-magneziu-siliciu** sînt rezistente la apa de mare și în mediul salin. De aceea, se recomandă pentru executarea carcaselor de protecție ale aparatelor și mașinilor electrice.

## **b. Aliaje de aluminiu laminabile**

Aliajele de aluminiu laminabile sînt aliajele folosite pentru conductoare pe bază de aluminiu și pentru conductoare de oțel-aluminiu cu caracteristici mecanice mai bune.

● Aliajele cele mai întrebuintate pentru conductoare sînt cele denumite **aldrey**. Ele sînt aliaje de aluminiu, magneziu (0,3...0,5%), siliciu (0,4...0,7%) și fier (0,2...0,3%).

Conductoarele din aliaje de tip aldrey se obțin prin încălzirea aliajului la circa 600°C, trefilarea lui la dimensiunile necesare, urmată de o reîncălzire la 200°C.

Rezistența la rupere a conductoarelor de aldrey este de circa două ori mai mare decît a celor de aluminiu. Este folosit pentru realizarea conductoarelor liniilor electrice aeriene.

## 7. OȚELUL

Oțelul are rezistența mecanică mult mai mare decât a celorlalte materiale conductoare (de 2...2,5 ori mai mare decât a cuprului), prețul mult mai scăzut și se poate fabrica într-un sortiment foarte larg de profile. În schimb, el are o rezistivitate de 7—8 ori mai mare decât a cuprului.

Cel mai bun oțel pentru conductoare este oțelul *armco*, care în afară de fier mai conține : carbon 0,03%, siliciu 0,05%, mangan 0,35%, sulf 0,025%, fosfor 0,018% și cupru 0,1%.

Standardele indică datele caracteristice pentru conductoarele de oțel zincate pentru telecomunicații și conducte izolate de oțel pentru linii electrice aeriene.

Calea de curent pentru macarale și poduri rulante din atelierele metalurgice și mecanice lucrând în condiții grele (șocuri mecanice, praf) se execută din profile de oțel obișnuit. Șinele de tramvai, de căi ferate electrice și de metrou servesc de asemenea drept conductoare.

## 8. ALIAJE PENTRU LIPIT

Contactele masive, obținute prin lipirea contactelor de cupru, alamă sau oțel, se obțin folosind aliaje de lipit staniu-plumb. Pentru înlăturarea oxizilor de pe suprafața de contact se folosește un material decapant (de exemplu, soluție de colofoniu în alcool).

Aliajele pentru lipit se împart în două categorii : *aliaje pentru lipituri moi* și *aliaje pentru lipituri tari*.

### a. Aliaje pentru lipituri moi

Aliajele pentru lipituri moi au temperatura de topire de 400°C și rezistență mică la tracțiune și compresiune.

În electrotehnică se utilizează aliajele de lipit, Lp 37, Lp 40, Lp 50 și Lp 60 (cifra indică conținutul de staniu) care se livrează sub formă de vergele sau de sîrme.

Domeniul de utilizare a aliajului depinde de conținutul de staniu. De exemplu, Lp 37 se utilizează pentru asamblări cu caracter mecanic, la conductele telefonice și telegrafice, iar Lp 60 se utilizează la execuția lipiturilor fine și în radiofonie.

## b. Aliaje pentru lipituri tari

Aliajele pentru lipituri tari se folosesc pentru cupru, alamă și argint. Rezistența mecanică a lipiturilor tari este de circa patru ori mai mare decât a lipiturilor moi.

Aliajele folosite pentru lipit sînt : alama cu 60% cupru, restul zinc, cu temperatura de topire de 900°C, și aliajul cu 70% argint și 30% cupru cu temperatura de topire de 800°C. Se livrează sub formă de benzi, vergele, sîrme, granule.

**N o t ă .** Lipirea conductoarelor de aluminiu este complicată de existența oxidului de aluminiu, care împiedică sudarea aliajului de lipit cu stratul de la suprafața aluminiului. Înlăturarea oxidului se face pe cale mecanică sau cu ajutorul substanțelor decapante. Lipirea aluminiului poate fi de două feluri, în funcție de aliajele de lipit:

— lipire moale, cu aliaje de lipit ușor fuzibile pe bază de zinc (45%) și staniu (55%). Această lipire nu asigură suficientă rezistență la coroziune a legăturilor ;

— lipire tare, cu aliaje de lipit cu temperatura de topire de 600°C, pe bază de aluminiu sau alte metale (zinc pur sau aliajele sale cu argint, cupru, nichel) pînă la 30%. Această legătură este fragilă.

Lipirea conductoarelor de aluminiu cu secțiune rotundă este mult mai complicată și de obicei se face prin sudare.

## 9. MATERIALE CONDUCTOARE PENTRU CONTACTE DE RUPERE

Așa cum s-a arătat în paragraful A 2, materialele pentru contactele de rupere trebuie să aibă caracteristici mecanice și electrice deosebite.

Diferite studii făcute asupra arcului electric care apare la deschiderea contactelor au dus la concluzia că există o tensiune și un curent minim la care acesta apare. Aceste valori sînt caracteristice pentru fiecare material în parte și determină puterea de rupere a contactului.

Din punctul de vedere al puterii de rupere, materialele se împart în două categorii principale : *materiale pentru contacte de mică putere și materiale pentru contacte de mare putere.*

## a. Materiale pentru contacte de mică putere

Dintre acestea, mai des folosite sînt argintul, aurul, platina, wolframul, cuprul și, mai rar, molibdenul și nichelul; se folosesc de asemenea aliaje de metale prețioase (Au-Ag, Pt-Ir), metale și metale prețioase (Cu-Au, Ni-Pt), metale neprețioase de același tip (V-Mo, W-Ta, Mo-Ta).

Aceste materiale se folosesc la contactele pentru curenți slabi din aparatele de telecomunicații, la contacte pentru regulatoare de tensiune, pentru relee termostactice, pentru relee de semnalizare la căi ferate, pentru echipamentul de automobile și avioane.

## b. Materiale pentru contacte de mare putere

Din această categorie fac parte materialele metaloceramice, constituite din amestecuri de metale greu fuzibile cu metale bune conductoare de curent, care nu se pot alia între ele.

Compozițiile se prepară prin următoarele metode:

- *sinterizarea amestecurilor pulberilor metalice;*
- *împregnarea componentului greu fuzibil cu componentul topit, ușor fuzibil.*

Cele mai utilizate compoziții sînt: argint-wolfram, argint-molibden, argint-nichel, argint-oxid de cadmiu, cupru-wolfram, cupru-molibden.

● **Sinterizarea** este procedeul de transformare în corp solid a unui amestec de pulberi metalice, printr-un tratament termic la o temperatură inferioară celei de topire. Astfel se obțin compoziții dozate precis, însă structura compoziției nu este totdeauna cea dorită.

● **Prin metoda de impregnare** se obține structura compoziției dorite, însă nu există posibilitatea de a se varia mult componența compozițiilor. Materialele obținute au o bună conductibilitate electrică, duritate și stabilitate termică mare. Ele se folosesc sub forma unor pastile subțiri lipite pe suprafețele de contact ale contactelor de rupere din aparatele electrice.

Aceste materiale se folosesc la contactele aparatelor de conectare de curenți mari și care fac un număr mare de manevre de conectare și deconectare.

## B. MATERIALE CONDUCTOARE DE MARE REZISTIVITATE

### 1. GENERALITAȚI

În tehnică sînt numeroase cazurile cînd un conductor electric trebuie să aibă rezistivitate mare, fie cu scopul de a servi la fabricarea unei anumite rezistențe cu volum mic, fie pentru a produce căldură (aparate de încălzire electrice, industriale și casnice).

● După natura materialelor, se deosebesc :

- *metale pure sau slab aliate*, pentru rezistențe electrice ;
- *aliaje* pentru rezistențe electrice.

**Observații.** Metalele pure sau slab aliate au o întrebuințare limitată la construcția rezistențelor, deoarece în general au o rezistivitate mai mică decît aliajele lor, un coeficient de variație a rezistivității cu temperatura mult mai mare decît al aliajelor și sînt supuse coroziunii la temperaturi ridicate.

● După întrebuințare, se deosebesc :

- *aliaje pentru rezistențe de precizie*, întrebuințate la aparate electrice de măsurat și la rezistențele etalon (coeficient de variație a rezistivității cu temperatura,  $\alpha$ , mic) ;
- *aliaje* (rezistente la trepidații, coroziune) *pentru reostate de pornire și de reglare* ;
- *aliaje* (rezistente timp îndelungat la temperaturi înalte) *pentru aparate electrice de încălzire*.

### 2. ALIAJE PENTRU REZISTENȚE DE PRECIZIE ȘI PENTRU REOSTATE

#### a. Aliaje de tip manganină

Ele au în compoziție 86% Cu, 2% Ni și 12% Mn. Au o culoare caș-fenie-roșiatică, se trag ușor în benzi și sîrme subțiri. Se întrebuințează la fabricarea rezistențelor electrice de precizie, deoarece nu denaturează rezultatele măsurărilor la diferite valori ale curentului sau la diferite temperaturi ale mediului ambiant, coeficientul  $\alpha$  fiind foarte mic.

Manganina se livrează sub formă de benzi cu grosimea de 0,01... 0,1 mm și cu lățimea de 10...300 mm, și sîrme cu diametrul pînă la 0,02 mm.

Folosindu-se alumiuniul în loc de nichel s-au elaborat aliaje cu proprietăți apropiate de cele ale manganinei, numite *izabelină* și *novocostante*, care se folosesc la reostate.

### **b. Constantan**

Constantanul conține 60% Cu și 40% Ni. Se prelucrează ușor la rece sau la cald, putând fi tras în sîrme subțiri pînă la un diametru de 0,02 mm și laminat în benzi cu grosimea de 0,2 mm.

Constantanul poate fi ușor sudat și lipit; coeficientul de variație a rezistivității sale cu temperatura este foarte mic, de unde vine și numele materialului (aliaj cu rezistență electrică constantă).

Constantanul nu poate fi utilizat la reostate și elemente de încălzire peste 450°C, deoarece se oxidează. El se utilizează la fabricarea cuplurilor termoelectrice.

### **c. Nichelină**

Nichelina conține 25...35% Ni, 2...3% Mn, 67% Cu. Ea se prelucrează mai ușor, are o rezistivitate mai mică și un coeficient de variație a rezistivității cu temperatura mai mare decît al constantanului. Se utilizează pentru reostate de pornire și reglare.

### **d. Aliaje cupru-zinc (bronz fosforos) și cupru nichel-zinc (alpaca, maillechort, packfong)**

Se utilizează în aparatele de măsurat obișnuite și la reostate pentru curenți mai mari.

## **3. ALIAJE PENTRU REZISTENȚE DE ÎNCĂLZIRE ELECTRICĂ**

Conductoarele cu rezistență mare la temperaturi ridicate se execută din:

— aliaje pe bază de fier, nichel și crom (nicrom, cromnichel) sau nichel-fier-crom (feronicrom);

— aliaje pe bază de fier, crom și aluminiu (fecral-cromal, crom-aluminiu, kanthal etc.);

— aliaje de crom, siliciu și fier.

### a. Aliaje pe bază de fier, nichel și crom

● **Aliajele nichel-crom.** Aceste aliaje au o mare rezistență la temperaturi ridicate, rezistivitate mare și un coeficient mic de variație a rezistivității cu temperatura.

Ele se întrebuințează pentru temperaturi pînă la 1 000°C.

Se livrează sub formă de conductoare subțiri cu diametrul de 0,01... 0,3 mm și de benzi.

● **Aliajele pe bază de fier, crom și nichel** au o rezistență mai mică la oxidare decît aliajele crom-nichel, deoarece fierul are o viteză mai mare de oxidare.

Se livrează sub formă de sîrme subțiri cu diametrul pînă la 0,02 mm și în benzi cu secțiunea pînă la  $0,1 \times 1$  mm.

Aliajele nicrom și fericrom poartă diferite denumiri comerciale: cromel, cromnichel etc.

● Se folosesc de asemenea aliaje cu adaosuri de Si, Mn, Cu, Al, V, Ti.

### b. Aliaje pe bază de fier, crom și aluminiu

Se folosesc pentru rezistențe de încălzire. Aliajele pe bază de nichel fiind scumpe, s-au elaborat aliaje rezistente la temperaturi mari pe bază de fier. Dintre acestea, mai importante sînt *fecralul*, *kanthalul* și *cromalul*.

● **Fecralul** este un aliaj de fier cu 12...15% Cr și 2...5% Al. Adaosul de aluminiu și de crom la fier mărește rezistivitatea aliajului. În același timp, coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura scade. Cromul și aluminiul dau aliajului mare rezistență la oxidare, făcîndu-l utilizabil la temperaturi pînă la 800...850°C.

Fecralul este mai dur și mai fragil decît nicromul; de aceea se trage mai greu în sîrme și benzi.

Adaosurile de cupru și mangan măresc rezistivitatea aliajului și micșorează coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura.

Aliajele fecral se pot folosi și pentru turnarea elementelor de încălzire.

● **Kanthalul**, aliaj pe bază de fier, crom, aluminiu și cobalt, are temperatura de regim de 1 150...1 325°C. El prezintă avantajul că este foarte rezistent la temperaturi înalte, oxidarea lui fiind mai redusă decît a celorlalte aliaje pentru rezistențe (fericrom, crom-nichel etc.). Peste 1 000°C, aliajele kanthal devin casante.

Caracteristicile aliajelor pentru rezistențe de încălzire electrică

| Aliajul                      | Compoziția                                 | Temperatura          |                  | $\rho$<br>[ $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m] | $\alpha \cdot 10^{-6}$<br>[1/grd] | $\sigma_r t$<br>[daN/mm <sup>2</sup> ] | Domeniul de utilizare                                                                                  |
|------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              |                                            | de<br>topire<br>[°C] | de lucru<br>[°C] |                                          |                                   |                                        |                                                                                                        |
| 1                            | 2                                          | 3                    | 4                | 5                                        | 6                                 | 7                                      | 8                                                                                                      |
| Nicrom<br>Crom-nichel        | 19...21% Cr<br>81...79% Ni                 | 1 400                | 1 150            | 1,1...1,2                                | 13                                | 92                                     | Cuptoare industriale cu<br>rezistență, dispozitive de<br>încălzire pentru labora-<br>toare și locuințe |
| Feronicrom                   | 15...20% Cr<br>60...62% Ni<br>25... 18% Fe | 1 400                | 1 050            | 1,0...1,15                               | 13                                | 70                                     |                                                                                                        |
| Fecral                       | 12% Cr<br>2% Al<br>rest Fe                 | 1 450                | 850              | 1,2...1,4                                | 18                                | 70                                     | Reostate, elemente de în-<br>călzire pentru sobe, ter-<br>mostate și aparate elec-<br>trocasnice       |
| Crom alumi-<br>niu           | 30% Cr<br>4% Al<br>rest Fe                 | 1 500                | 1 250...1 300    | 1,35                                     | 4                                 | 80                                     | Sirme de secțiune mare<br>pentru cuptoare elec-<br>trice industriale                                   |
| Kanthal                      | 21% Cr<br>4,9% Al<br>3,8% Co<br>rest Fe    | 1 510                | 1 250            | 1,35                                     | 8                                 | 80...85                                | Cuptoare industriale, a-<br>parate casnice, reostate<br>de reglare                                     |
| Aliaje crom-<br>siliciu-fier | 67% Fe<br>30% Cr<br>2,5% Si                | 1 480                | 1 050            | 0,95                                     | —                                 | —                                      | Aparate de încălzire                                                                                   |

● **Cromalul** este un aliaj cu 64% Fe, 30% Cr, 4,5% Al și 1,5% C, Mn, Si, S, P.

Se întrebuințează pentru confecționarea rezistențelor la cuptoarele electrice industriale, care funcționează la temperaturi pînă la 1 800°C.

În tabela 4-1 sînt date principalele caracteristici ale materialelor folosite în construcția rezistențelor de încălzire.

## REZUMAT

În funcție de valoarea rezistivității, materialele conductoare se clasifică în două categorii:

*materiale de înaltă conductivitate electrică;*

*materiale de înaltă rezistivitate electrică.*

Materialele conductoare folosite în electrotehnică

- cuprul cu aliajele sale — alama și bronzul;
- alumiul cu aliajele sale;
- aliajele fierului cu carbon (oțelul), cu nichel, cu crom etc.

**Materialele pentru conductoare** trebuie să aibă rezistivitate mică, caracteristici mecanice bune, să poată fi trefilate și laminate, să reziste la acțiunea agenților atmosferici.

**Materialele pentru contacte** trebuie să aibă aceleași caracteristici ca cele pentru conductoare și în plus trebuie să reziste la solicitările electrice și termice datorate arcului electric.

**Materialele pentru construcția rezistențelor electrice** trebuie să aibă o rezistivitate cît mai mare, un coeficient de variație a rezistivității cu temperatura cît mai mic, temperatura de topire și de funcționare ridicată, să poată fi trefilate și laminate.

## Verificarea cunoștințelor

1. Care sînt valorile limită ale rezistivității, prin care se stabilesc categoriile: materiale de înaltă conductivitate și materiale de înaltă rezistivitate?
2. Ce proprietăți trebuie să aibă materialele pentru contacte?
3. Să se compare proprietățile fizice, caracteristicile mecanice și tehnologice ale principalelor materiale folosite pentru fabricarea conductoarelor electrice.
4. Care sînt utilizările bronzurilor în industria electrotehnică?

5. Ce deosebire există între proprietățile fizice, caracteristicile mecanice și tehnologice ale aluminiului și cuprului ?
6. Ce particularitate prezintă lipirea conductoarelor de aluminiu și cum se execută ?
7. Ce materiale se folosesc pentru contacte de rupere ?
8. Comparați proprietățile fizice și caracteristicile mecanice ale diverselor materiale folosite pentru rezistențe și arătați ce factori determină utilizarea materialului respectiv ?

## Capitolul V

### COROZIUNEA METALELOR

#### A. GENERALITĂȚI

Se numește **coroziune** *procesul de modificare treptată a structurii chimice și fizice a metalelor și aliajelor lor, sub acțiunea unor agenți agresivi din mediul înconjurător.*

Acest proces *se produce lent*, chiar la temperatura scăzută a mediului, începînd de la suprafața materialului și se propagă spre interior putînd duce chiar la distrugerea completă a pieselor.

*Coroziunea materialelor metalice se manifestă* prin scăderea în greutate a piesei, modificarea structurii și culorii suprafeței și înrăutățirea proprietăților mecanice.

Metalele și aliajele lor se comportă în mod deosebit la coroziune. De exemplu, fierul se corodează foarte ușor (rugineste), pe cînd platina și wolframul nu se corodează în mod natural.

● **Agenții corosivi din atmosferă** sînt numeroși și pot fi clasificați în funcție de :

— *starea de agregare ;*

Se deosebesc *agenți corosivi lichizi* (apa) și *gazoși* (vapori de apă, oxigenul, clorul, oxizii de azot, pulberile) ;

— *compoziția chimică.*

Se deosebesc *agenți corosivi substanțe simple*, *oxizi*, *acizi*, *baze*.

**N o t ă.** Dintre toate substanțele care produc coroziunea, oxigenul este agentul corosiv care are acțiunea cea mai răspîndită.

#### B. COMPORTAREA DIFERITELOR MATERIALE LA COROZIUNE

La temperatura ordinară, majoritatea metalelor se oxidează aco-perindu-se cu un strat subțire de oxid.

● Pentru **aluminiu, zinc, plumb, magneziu**, acest strat de oxid este compact și foarte aderent la suprafața metalului, ceea ce împiedică oxidarea spre interior a piesei.

● La **fier**, stratul de oxid care se formează este poros și se desprinde cu ușurință de pe suprafața metalului, ceea ce permite coroziunea în profunzime, mergînd pînă la distrugerea pieselor. Fierul se corodează puternic sub acțiunea vaporilor de apă și a soluțiilor bazice.

● **Oțelurile** nu sînt rezistente la coroziune, în primul rînd deoarece sînt aliaje de fier, ai cărui oxizi nu dau pelicule protectoare, și în al doilea rînd din cauza structurii interne a aliajului. Oțelurile aliate cu 25...35% Ni (eventual 2% Cr) sau cu 18...20% Cr și 8...10% Ni devin rezistente la acțiunea oxigenului, din cauza modificării structurii interne.

Oțelul și fonta rezistă la acțiunea acidului sulfuric, dar sînt puternic atacate de apele calcaroase. Aliat cu crom, oțelul rezistă la acțiunea oxizilor de azot și a acidului azotic.

● **Cuprul, cromul, cositorul** nu se oxidează decît la temperatură ridicată. Cuprul este atacat de vaporii de apă, de apele acide, de clor, de acidul azotic. Alama este atacată de acidul azotic și sulfuric, dar rezistă la acțiunea corosivă a soluțiilor bazice la fel ca și bronzul.

În atmosferă normală cuprul se acoperă cu un strat protector de culoare verde (carbonat bazic) care împiedică corodarea în profunzime.

● **Aurul și platina** nu se oxidează nici la temperatura obișnuită și nici prin încălzire.

● **Aluminiul** se corodează puternic la acțiunea vaporilor de apă și a soluțiilor bazice.

● Metalele deosebit de rezistente la acțiunile corosive sînt **nichelul, cromul, cadmiul, zincul**.

## C. COROZIUNEA CHIMICĂ ȘI ELECTROCHIMICĂ

Corodarea metalelor poate să se producă pe cale chimică sau electrochimică.

### 1. COROZIUNEA CHIMICĂ

**Coroziunea chimică** se produce datorită reacțiilor chimice care au loc la suprafața metalului în prezența gazelor corosive uscate sau a lichidelor care nu conduc curentul electric.

Intensitatea procesului crește cu temperatura și depinde de natura produsului chimic rezultat din reacție. Acesta poate să formeze o peliculă protectoare, care împiedică continuarea reacției spre interior.

**Notă.** În practică corodarea pur chimică este foarte rară.

## 2. COROZIUNEA ELECTROCHIMICĂ

Coroziunea electrochimică se datorește unui fenomen asemănător cu cel din pilele electrice.

Ea este mult mai des întâlnită în exploatarea instalațiilor electrice.

Metalele introduse în soluția unei sări proprii se comportă în moduri diferite. Astfel, unele metale (Cd, Fe etc.) trimit în soluție ioni pozitivi de metal sau se dizolvă, metalul încărcându-se negativ, pe când alte metale (Cu, Ag etc.) primesc din soluția proprie ioni și se încarcă pozitiv față de soluție. Diferența de potențial dintre metalul încărcat cu electricitate și soluție se numește *potențial electrochimic*. Dacă potențialul metalelor într-o soluție de sare metalică se compară cu potențialul hidrogenului față de apă, care se consideră egal cu zero, potențialele electrochimice ale metalelor formează o serie, conform tabelui 5.1.

Tabela 5-1

Seria potențialelor electrochimice la metale

| Metalul | Potențialul electrochimic [V] | Metalul        | Potențialul electrochimic [V] |
|---------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|
| Mg      | -1,87                         | Ni             | -0,25                         |
| Al      | -1,3                          | Sn             | -0,14                         |
| Mn      | -1,1                          | Pb             | -0,13                         |
| Zn      | -0,76                         | H <sub>2</sub> | 0,00                          |
| Cr      | -0,56                         | Cu             | +0,345                        |
| Fe      | -0,44                         | Ag             | +0,81                         |
| Cd      | -0,40                         | Hg             | +0,86                         |
| Ti      | -0,33                         | Pt             | +0,86                         |
| Co      | -0,255                        | Au             | +1,38                         |

Un metal elimină din soluție toate metalele situate după el în seria potențialelor electrochimice (inclusiv hidrogenul). Metalele electro-negative se dizolvă în acizi diluați, cu degajare de hidrogen.

*Coroziunea electrochimică apare atunci când două metale cu potențiale electrochimice diferite sînt în contact.* În locul de contact se produce un element galvanic local ; rolul electrolitului îl au picăturile de apă și vaporii de apă din atmosferă, deoarece sînt întotdeauna încărcate cu cantități mici de săruri. Datorită diferenței de potențial dintre metale apare un curent electric care circulă prin electrolit de la metalul anod la metalul catod, dînd naștere unei electrolize ; la locul cu potențialul mai scăzut (anodul) metalul începe să se dizolve în electrolit, distrugîndu-se.

Cu cît un metal se află mai la sfîrșitul seriei potențialelor electrochimice din tabela 5-1 față de altul din această serie, cu atît el se distruge mai încet în cursul fenomenului de electroliză.

Și curenții de dispersie care circulă prin pământ, datorită prezenței apei și a sărurilor dizolvate în ea, provoacă coroziunea electrochimică a construcțiilor metalice subterane.

## D. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ COROZIUNEA

Coroziunea este influențată de *mediul ambiant* (prezența umidității, a vaporilor de diverse substanțe chimice, a apei de mare), *de calitatea suprafeței materialului, de calitatea peliculelor de protecție* de pe suprafața metalelor și *de puritatea metalului sau aliajului*.

● **Mediul ambiant.** În aerul curat, uscat, este posibilă *coroziunea pur chimică a metalelor*, care la temperatura normală se limitează de obicei la formarea pe suprafața metalului a peliculei foarte subțiri de oxid. Totuși, datorită prezenței permanente a umezelii și a gazelor (amoniac, bioxid de carbon, clor etc.) în atmosferă, coroziunea atmosferică a metalelor are un *caracter preponderent electrochimic*.

Produsele coroziunii, praful, diferitele substanțe capabile să absoarbă apă pot crea condiții pentru producerea coroziunii electrochimice a metalului și la umiditate mai redusă a aerului.

Pentru ca să se producă coroziunea electrochimică, trebuie să existe pe porțiunea supusă coroziunii, pe lângă electrolit, și o diferență de potențial. Aceasta apare întotdeauna datorită contactului a două metale diferite.

— Contactul între metale diferite poate fi *macroscopic*, realizat prin atingerea pieselor din diferite metale (de exemplu, stringerea conductoarelor cu clemă) sau *microscopic*, realizat între metalul de bază și incluziunile microscopice din el, care s-au introdus întâmplător în timpul procesului de fabricație.

● **Starea suprafeței.** Suprafețele rugoase se corodează mai ușor datorită faptului că impuritățile se fixează mai ușor pe ele, iar apa de condensare se menține în denivelările suprafeței, constituind electrolitul. La suprafețele cu un grad mai ridicat de finisare, acest pericol scade.

● Dacă **stratul de protecție** se exfoliază, se fisurează sau este poros, apar fenomene de coroziune.

În figura 5-1 este reprezentat procesul de coroziune a fierului sub stratul metalic protector de nichel, din cauza existenței unui por în acest strat sau chiar a deteriorării stratului de protecție. După cum se vede în tabela 5-1, fierul are potențialul electrochimic de  $-0,44$  V, pe când nichelul are  $-0,25$  V. Nichelul este deci mai electropozitiv decât fierul. În golul format de deteriorarea stratului de protecție se

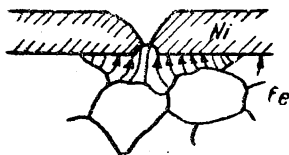


Fig. 5-1. Coroziunea fierului sub un strat protector de nichel.

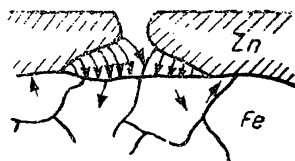


Fig. 5-2. Coroziunea fierului sub un strat protector de zinc.

strâng câteva picături de apă care au rolul de electrolit. Are loc o trecere a sarcinii electrice de la fier la nichel, fierul dizolvându-se în electrolit sub stratul de protecție.

Se protejează fierul cu un strat de zinc. Din tabela 5-1 se constată că zincul are potențialul electrochimic de  $-0,76$  V, adică este mai electronegativ decât fierul. În cazul deteriorării stratului de protecție se produce un element galvanic local, în care circulația de sarcini electrice se face de la zinc la fier (fig. 5-2). Zincul se dizolvă în electrolit, ceea ce duce la distrugerea stratului de protecție.

Coroziunea se produce și în cazul deteriorării stratului nemetalic de protecție (email, lac etc.). Oxizii sau ceilalți compuși chimici care iau naștere la suprafața metalului în locul în care stratul de protecție este deteriorat, duc la exfolierea progresivă a acestuia.

## E. PROTECȚIA METALELOR ÎMPOTRIVA COROZIUNII

În majoritatea cazurilor, protecția metalelor împotriva coroziunii se obține prin realizarea unui strat protector pe suprafața metalului. În cele ce urmează vor fi prezentate tipurile de acoperiri de protecție.

● **După destinație**, acoperirile se clasifică în modul următor :

● *acoperiri de protecție anticorosivă*, care se întrebuintează pentru protejarea suprafețelor împotriva coroziunii provocate de agenții externi ;

● *acoperiri decorative și de protecție*, care, în afara scopului protec-  
tor, urmăresc în mod deosebit efectul decorativ ;

● *acoperiri ale contactelor*, care deși ar putea fi incluse la grupa acoperirilor de protecție, se menționează separat, datorită specificului lor în electrotehnică. Acestea sînt totdeauna metalice, în vederea micșorării rezistenței de contact și împiedicării creșterii ulterioare a acesteia.

● **După materialele și procesele tehnologice utilizate**, acoperirile se clasifică în modul următor :

● *acoperiri electrochimice*, care se obțin prin depunerea de metale în soluții de săruri metalice cu ajutorul curentului electric ;

Piesa a cărei suprafață a fost curățată se leagă la polul negativ al unei surse de curent și se introduce în baia de galvanizare, care conține o soluție de sare a metalului protector. La polul pozitiv al sursei se leagă o placă din metalul protector. La trecerea curentului electric prin soluție, sarea metalului protector se descompune și metalul se depune pe piesele de protejat. Grosimea stratului depus este în mod obișnuit de ordinul sutimilor de milimetru. Acoperirile obișnuite se fac cu : Cu, Ni, Cr, Ag etc.

**O b s e r v a Ț i e.** De multe ori, metalul ce trebuie depus nu aderă la piesa de protejat și atunci sînt necesare mai multe depuneri succesive de metale diferite. De exemplu, la acoperirile cu nichel trebuie făcută mai întîi o acoperire cu cupru, iar la cele cu crom trebuie depus întîi cupru, apoi nichel și după aceea crom.

● *acoperiri termice*, care se obțin prin depunerea de metale cu ajutorul căldurii.

Se deosebesc mai multe procedee :

- *acoperiri prin spoire*, obținute prin aplicarea și întinderea prin frecare a metalului în stare topită pe suprafața încălzită a obiectului, folosindu-se staniu pentru acoperirea pieselor de cupru (papuci de cablu etc.) ;
- *acoperiri prin topirea pulberilor sau pastelor* ;
- *acoperiri prin amalgamare* obținute prin tratarea suprafeței de acoperit cu aliaje de mercur ;
- *acoperiri prin condensare*, obținute prin condensarea vaporilor metalici sau a vaporilor compuşilor metalici volatili.

● *acoperiri mecanice*, care se obțin prin depunerea de metal pe cale mecanică cu sau fără ajutorul căldurii ;

Se deosebesc mai multe procedee :

- *acoperiri prin placare* care se execută acoperind metalul supus coroziunii cu una sau două table dintr-un metal mai rezistent la coroziune. Tablele sînt supuse unei presiuni puternice între cilindrii unui laminor de tablă ;
- *acoperiri prin pulverizare cu zinc topit*, care se execută folosind un pistol de vopsit cu aer comprimat. Topirea zincului se efectuează la o flacără oxiacetilenică.

● *acoperiri chimico-termice*, care se realizează prin tratarea suprafețelor metalice cu diferite substanțe chimice, de multe ori la cald, formîndu-se un strat subțire protector față de coroziune ;

Această metodă se utilizează în electrotehnică, în special în următoarele cazuri :

- *protecția suprafeței oțelului prin oxidare, fosfatare, cromare și nitrurare* (la izolarea tolelor mașinilor electrice, pentru diverse piese decorative etc.) ;
- *protecția suprafeței cuprului și a alamei prin oxidare, sulfurare etc.* (de exemplu, la portierii în mediu marin) ;
- *protecția suprafeței aluminiului prin oxidare*, însoțită eventual de colorare (la carcase și alte piese turnate din aluminu, la piese ornamentale etc.) ;
- *protecția suprafeței zincului prin oxidare, cromare, fosfatare* (la piese turnate din zinc, cu funcționare în mediul marin).

● *acoperiri cu vopsele și lacuri*, care se realizează atât pentru protecție cât și în scop decorativ, prin depunerea unui sau mai multor straturi de vopsele și lacuri pe suprafața metalică curățită în prealabil;

La aceste acoperiri se utilizează următoarele materiale:

— *Lacuri*. Lacurile sînt obținute prin dizolvarea unei substanțe de bază (rășină, bitum) împreună cu diverși coloranți, în solvenți volatili (terebentină, alcool, benzen, benzină etc.). La uscarea lacului, solventul se volatilizează, iar baza lacului trece în stare solidă, formînd o peliculă subțire de lac la suprafața pieselor.

— *Emaluri*. Sînt o varietate de lacuri, cu capacitate de a adera puternic (la suprafețele pe care sînt aplicate).

— *Vopsele*. Vopselele sînt alcătuite din pulberi colorate (pigmenți) aflate în suspensie într-un lichid (ulei, apă etc.). Prin uscare se obține o peliculă mată. În țara noastră există o puternică industrie de lacuri și vopsele la București și Timișoara.

— *Grunduri*. Sînt suspensii de pigmenți în proporții mărite în uleiuri vegetale sau lac. Grundurile sînt baza oricărei vopsiri acoperitoare, ele constituind primul strat aplicat pe metal, făcînd legătura între metal și chit, vopsea sau lac.

— *Chituri*. Sînt materiale întrebuintate pentru umplerea cavităților și pentru nivelarea și netezirea suprafețelor de vopsit. Chiturile se aplică direct pe suprafața metalică sau peste grund.

● *acoperiri cu unsori de protecție*, care se execută sub forma unor acoperiri temporare a pieselor care în stare naturală nu trebuie să fie acoperite (capete de ax, rulmenți etc.), sau chiar pentru unele piese acoperite cu straturi metalice pentru perioada depozitării și transportului.

## REZUMAT

**Coroziunea** metalelor este fenomenul de modificare treptată a materialului începînd de la suprafață, sub acțiunea mediului exterior.

**Metalele se comportă în mod diferit la coroziune**: astfel fierul se corodează ușor, putîndu-se ajunge pînă la distrugerea piesei, pe cînd cuprul, zincul, plumbul, magneziul se acoperă cu un strat dintr-un compus chimic, care împiedică coroziunea spre interior.

**Cauzele coroziunii sînt de natură chimică** (reacție chimică care se produce la suprafața metalului) și *electrochimică* (producerea unui element galvanic local).

**Factorii** care influențează coroziunea sînt: *mediul ambiant, calitatea suprafeței materialului și a peliculei de protecție, puritatea metalului, structura internă a aliajului*.

**Protecția** împotriva coroziunii se obține cu ajutorul unui strat protector al suprafeței metalului.

## **Verificarea cunoștințelor**

- 1.** Arătați care sînt caracteristicile principale ale fenomenului de coroziune.
- 2.** Cum se comportă diferite metale și aliaje la acțiunea agenților corosivi ?
- 3.** Explicați cum se produce procesul de corodare sub un strat metalic de protecție deteriorat.
- 4.** Cum se clasifică acoperirile de protecție ? Ce acoperiri de protecție se folosesc în industria electrotehnică ?
- 5.** Ce deosebire există între acoperirile electrochimice și cele cu vopsele și lacuri ?

# Capitolul VI

## MATERIALE SEMICONDUCTOARE

### A. PROPRIETĂȚI GENERALE

Materialele semiconductoare sînt acele materiale care din punctul de vedere al conductivității electrice se plasează între materialele conductoare și cele electroizolante, avînd o rezistivitate electrică mai mare decît cea a metalelor, dar mai mică decît cea a materialelor izolante. Pentru o mai clară ilustrare, s-a întocmit tabela 6-1.

Tabela 6-1

| Denumirea                 | Rezistivitatea<br>[Ωm]  |
|---------------------------|-------------------------|
| Conductoare . . . . .     | $10^{-8} \dots 10^{-3}$ |
| Semiconductoare . . . . . | $10^{-3} \dots 10^6$    |
| Izolatoare . . . . .      | $10^6 \dots 10^{18}$    |

Caracteristicile semiconductoarelor utilizate azi sînt legate în principal de *cantitatea de impurități chimice* pe care le conține materialul și de *structura rețelei cristaline*.

Comportarea semiconductoarelor este de asemenea puternic dependentă de *condițiile externe* în care lucrează.

Astfel, rezistivitatea este influențată la unele semiconductoare de temperatură, la altele de lumină, de cîmpul electric etc.

Printre elementele semiconductoare, cele mai reprezentative sînt *germaniul* (Ge), *siliciul* (Si) și *telurul* (Te).

Cea mai mare importanță, ca element folosit în prezent în tehnica dispozitivelor semiconductoare, o are germaniul. El are însă dezavantajul că este puțin răspîdit în natură.

Deși foarte răspândit în natură, folosirea siliciului ca semiconductor este limitată de faptul că tehnologia obținerii siliciului în stare foarte pură este complicată.

Ca semiconductor, telurul nu este folosit ca element pur, ci el formează baza pentru obținerea unei serii de aliaje semiconductoare.

În afara acestor elemente, se mai comportă ca semiconductoare și alte elemente, ca seleniul, carbonul, borul, sulful etc.

De asemenea, există compuși chimici cu proprietăți semiconductoare, cum sînt oxizii unor metale (de exemplu,  $\text{CuO}$  și  $\text{Cu}_2\text{O}$ ), sulfurile unor metale (de exemplu,  $\text{CuS}$  și  $\text{PbS}$ ) sau seleniurile unor metale (de exemplu,  $\text{CuSe}$  și  $\text{Ag}_2\text{Se}$ ) etc.

Ca și la conductoare, principalele proprietăți ale semiconductoarelor sînt :

- rezistivitatea electrică ;
- coeficientul de temperatură al rezistivității electrice ;
- rezistența mecanică.

Coeficientul de temperatură al rezistivității conductoarelor este o mărime cu valoare pozitivă (crește odată cu creșterea temperaturii conductorului).

Spre deosebire de materialele conductoare, la materialele semiconductoare coeficientul de temperatură al rezistivității este negativ și variază invers față de variația temperaturii, adică pe măsură ce temperatura semiconductorului crește, rezistivitatea sa scade.

Datorită faptului că proprietățile acestor materiale sînt foarte variate, domeniul lor de utilizare este vast, semiconductoarele căpătînd pe zi ce trece o folosire tot mai largă.

## B. EXPLICAREA CONDUCTIBILITĂȚII SEMICONDUCTOARELOR

Se consideră un cristal de germaniu ( $\text{Ge}$ ) la care fiecare atom, avînd patru electroni de valență, este înconjurat de alți patru atomi (fig. 6-1), astfel că în jurul fiecărui atom sînt opt electroni de valență. Să presupunem că un electron de valență a primit energie suficientă și a devenit liber, iar în locul lui a rămas un loc gol (desenat în fig. 6-1 printr-un cerculeț mic alb). Dacă cristalul se află într-un cîmp electric exterior de intensitate  $E$ , electronul liber se deplasează cu viteza  $v_e$  în sens contrar cîmpului. Sub acțiunea aceluiași cîmp exterior, un electron aflat în vecinătatea locului liber va avea energie suficientă pentru a se deplasa și a ocupa locul liber. Astfel apare un alt loc gol și așa mai departe. Are loc astfel o deplasare a locului liber în sensul cîmpului electric exterior  $E$ , ca și cum locul liber ar fi o sarcină electrică pozî-

tivă ce se mișcă cu viteza  $v_g = v_e$ . Locurile electronice libere se numesc **goluri**.

**Concluzie.** Deci, la materialele semiconductoare participă la conductibilitatea electrică două feluri de purtători de sarcină: electronii (negativi) și golurile (pozitive).

Electronii liberi și golurile care apar sînt perechi, iar materialele semiconductoare se numesc **cu conductibilitate intrinsecă**.

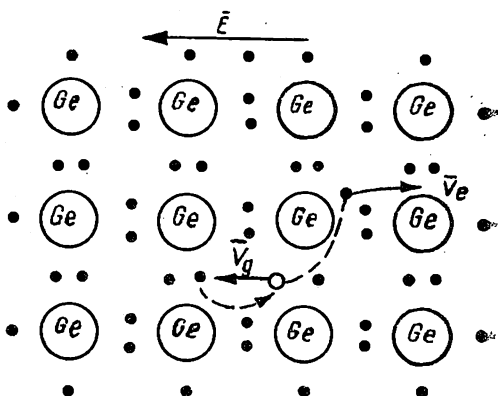


Fig. 6-1. Modelul plan al cristalului de germaniu.

## 1. IMPURIFICAREA SEMICONDUCTOARELOR

Introducerea în rețeaua cristalină a semiconductoarelor pure a unor cantități foarte mici de atomi ai altor elemente — impurități — modifică numărul de purtători de sarcină.

● **Conductibilitatea de tip n.** Dacă germaniul se „impurifică” cu elemente pentavalente, deci care au cinci electroni de valență, ca arsenul (As), fosforul (P), atunci fiecare atom de As sau P va avea patru electroni legați de atomul Ge și un electron liber (fig. 6-2). Prin urmare, în semiconductoare s-au introdus impurități care cedează electronii cristalului, numite *impurități donoare* (donează electroni). Numărul de electroni liberi în cristalul de germaniu este, în acest caz, mai mare decât al golurilor. De aceea, conductibilitatea electrică se datorește în principal electronilor (sarcini negative) și se numește **de tip n**.

● **Conductibilitatea de tip p.** Dacă germaniul se „impurifică” cu elemente trivalente, ca borul (B), aluminiul (Al), care au trei electroni de valență, atunci fiecare atom de B sau Al va avea trei electroni legați de atomul de Ge, iar în locul corespunzător celui de-al patrulea electron al atomului de Ge va apărea un gol (fig. 6-3). Aceste impurități care produc în semiconductor goluri, prin care captează electronii de la atomii vecini, se numesc *impurități acceptoare*. Numărul de goluri în cristal este în acest caz mai mare decât al electronilor liberi. De aceea, conductibilitatea electrică se datorește în principal golurilor (sarcini pozitive) și se numește **conductibilitate de tip p**.

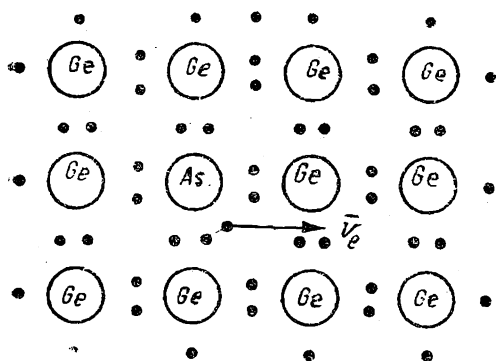


Fig. 6-2. Producerea conductibilității de tip  $n$ .

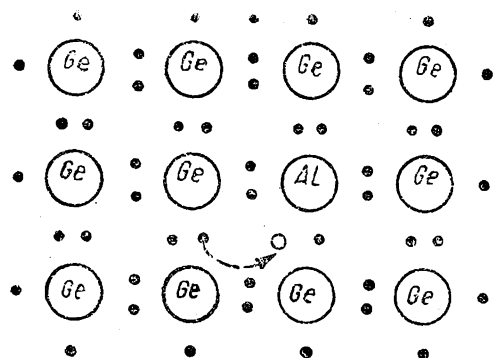


Fig. 6-3. Producerea conductibilității de tip  $p$ .

## 2. FENOMENE DE CONTACT.

### JONCTIUNEA $p-n$

La contactul dintre un cristal semiconductor de tip  $n$  și unul de tip  $p$  se formează o porțiune de tranziție, numită **joncțiune  $p-n$**  (fig. 6-4).

În semiconductorul de tip  $n$  există nuclee donoare notate cu  $+$  și electroni liberi notați cu  $-$ , iar în cel de tip  $p$  există nuclee acceptoare, notate cu  $-$  și goluri  $+$ . Electronii difuzează în partea  $p$  și ocupă golurile. Ca urmare partea  $n$  se încarcă pozitiv și partea  $p$  negativ, deci între partea  $n$  și  $p$  apare o diferență de potențial de contact  $V_o$  și un câmp electric îndreptat de la  $n$  la  $p$  care se opune deplasării electronilor.

În regiunea învecinată joncțiunii numărul electronilor din  $n$  va scădea, la

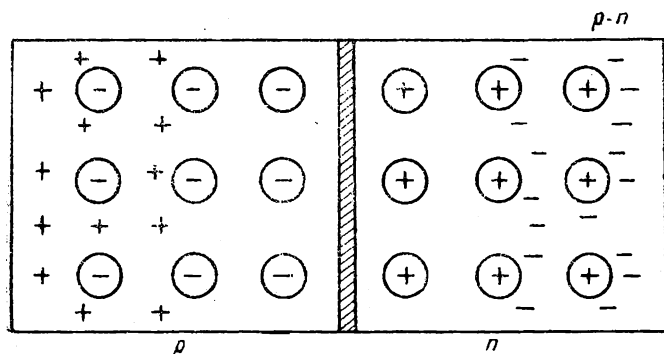


Fig. 6-4. Joncțiune semiconductoare  $p-n$ .

fel ca și numărul de goluri din  $p$ ; această regiune va fi mai săracă în purtători de sarcină și se numește *strat de blocare* sau de *baraj*.

Joncțiunea  $p-n$  are calități redresoare, deoarece dacă se aplică o tensiune exterioară continuă, ea permite trecerea curentului în circuit numai pentru o anumită polaritate a tensiunii, și anume: borna + a sursei conectată la joncțiunea  $p$ .

Dacă se realizează joncțiuni de tipul  $p-n-p$  sau  $n-p-n$ , se obține **tranzistorul** a cărui principală utilizare este cea de amplificator de tensiune.

## C. PRINCIPALELE MATERIALE SEMICONDUCTOARE

Materialele semiconductoare sînt utilizate pentru:

- *confecționarea rezistoarelor neliniare*;
- *fabricarea dispozitivelor semiconductoare*.

### 1. MATERIALE PENTRU REZISTENȚE NELINIARE

Rezistoarele neliniare reprezintă o clasă de dispozitive a căror funcționare se bazează pe proprietățile unor materiale semiconductoare de a-și modifica rezistența proprie sub acțiunea diversilor factori externi (temperatura, iluminarea, tensiunea aplicată etc.).

Cele mai răspîndite rezistoare neliniare sînt termorezistoarele, fotorezistoarele și varistoarele,\* care au o largă aplicabilitate în electronică, radiotehnică, automatizări și electrotehnică.

● Pentru realizarea **termorezistoarelor** se utilizează materiale semiconductoare oxidice ( $Mn_3O_4$ ,  $CuO$ ,  $CaO$ ,  $NiO$ ,  $BaTiO_3$ ,  $TiO_2$ ,  $SnO_2$ ,  $SiCO_3$ ) asociate în diverse procentaje, conform rețetelor tehnologice.

● **Fotorezistoarele** se confecționează din seleniu, sulfură de bismut, sulfură de cadmiu.

● Pentru obținerea **varistoarelor**, materialul de bază este carbura de siliciu.

Materialele semiconductoare pentru rezistoare neliniare sînt folosite sub formă de pulberi de granulații foarte fine.

---

\* Termorezistoarele (termistoarele) sînt rezistoare ale căror valori ale rezistivității scad pronunțat cu încălzirea.

Fotorezistoarele sînt rezistoare la care valoarea rezistivității se modifică în funcție de intensitatea energiei luminoase la care sînt supuse.

Varistoarele sînt rezistoare la care valoarea rezistivității se modifică sub influența cîmpului electric.

## 2. MATERIALE PENTRU DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

Pentru fabricarea dispozitivelor semiconductoare (diode, tranzistoare, tiristoare) sînt folosite *germaniul* și *siliciul*.

Materialele semiconductoare cristaline nu pot fi utilizate pentru realizarea diodelor și tranzistoarelor datorită structurii imperfecte a rețelei lor cristaline și distribuției neomogene a impurităților în ele. Din motivul acesta este necesar ca materialul semiconductor purificat să fie transformat în *monocristal*.

Structura rețelei cristaline a materialelor semiconductoare folosite la fabricarea dispozitivelor semiconductoare trebuie să fie cît mai perfectă, pentru a se obține parametri cît mai reproductibili în fabricație. Realizarea unor monocristale cu o structură perfectă are o mare importanță, întrucît microdefectele înrăutățesc proprietățile electrice ale materialului semiconductor.

În țara noastră, dispozitive semiconductoare cu germaniu și acum cu siliciu, se fabrică la IPRS-Băneasa.

### a. Germaniul

Germaniul este materialul semiconductor care a fost cel mai mult cercetat, multe fenomene în semiconductoare fiind observate experimental și prima oară descoperite cu ajutorul lui.

Germaniul nu se întîlnește în natură sub formă liberă, ci numai în stare combinată; principalul minereu de germaniu, germanitul, conține 0,03...10% germaniu. Principalele surse de obținere industrială a germaniului sînt: din minereuri (germanit); din subprodusele prelucrării cărbunelui (de exemplu, din prafurile, fumul și cenușa de ardere a cărbunelui sau din subprodusele cocsificării cărbunelui); din subprodusele metalurgiei neferoase.

Indiferent de procedeul de extragere a germaniului din diferite materii prime, în final se obține o soluție de tetraclorură de germaniu în acid clorhidric. Principala impuritate în acest material este arsenul, sub formă de triclorură de arsen.

Purificarea înaintată a tetraclorurii de germaniu în acid clorhidric se realizează prin procedee diverse, toate avînd la bază distilarea fracționată a amestecului de tetraclorură de germaniu și triclorură de arsen.

Germaniul este un metal alb-argintiu și casant și se prelucerează extrem de greu. Germaniul cristalizează în sistemul cubic.

Rezistivitatea germaniului este funcție de puritate, de temperatură și de starea cristalină a metalului.

Germaniul este stabil în aer uscat. Încălzit la roșu în stare compactă se acoperă cu o peliculă de oxid, iar în stare pulverizată se oxidează complet. Apa nu are nici o influență asupra germaniului. Hidrogenul se combină cu germaniul, formînd hidruri. În soluție, acidul clorhidric nu atacă germaniul, iar acidul azotic 50% oxidează superficial germaniul cu formarea de  $\text{GeO}_2$ . Într-un amestec de acid azotic și acid fluorhidric (apa regală), germaniul se dizolvă chiar la temperatura normală.

## b. Siliciul

Siliciul constituie 25,75% din scoarța pămîntului, fiind al doilea element ca răspîndire, după oxigen.

● **Proprietăți fizice și chimice.** La temperatura mediului înconjurător este solid, cristalin cu aspect lucios metallic, de culoare gri, cu o ușoară nuanță albastră. Se găsește sub forme alotropice: amorfă și cristalină; cristalizează în sistemul cubic.

Activitatea chimică a siliciului depinde de starea și de natura lui cristalină; siliciul amorf este mult mai activ din punct de vedere chimic decît siliciul cristalin, iar cel policristalin este mai activ decît siliciul monocristalin.

Prezența oxigenului în siliciul de înaltă puritate influențează pe de o parte constanta dielectrică a siliciului, iar pe de altă parte, duce la formarea, mai ales la temperaturi înalte, a unor centre donoare.

Siliciul formează o serie de combinații cu hidrogenul, numite silani; aceștia au căpătat o mare răspîndire atît în chimia purificării avansate a siliciului, cît și în tehnica realizării dispozitivelor semiconductoare.

Fluorul atacă siliciul chiar la temperatura camerei, formînd  $\text{SiF}_4$ ; cu clorul, siliciul reacționează la temperatura de 400...450°C.

Halogenurile de siliciu se obțin prin reacția directă dintre siliciu și halogenul respectiv la diferite temperaturi. O importanță deosebită în tehnica dispozitivelor semiconductoare o are triclorosilanul și tetraclorura de siliciu.

● **Obținerea siliciului de înaltă puritate.** Se cunosc multe procedee de obținere a siliciului de înaltă puritate. Unul dintre cele mai folosite procedee este obținerea siliciului din tetraclorură de siliciu.

Procedeul de purificare a siliciului prin intermediul tetraclorurii de siliciu se bazează pe clorurarea siliciului în vederea obținerii tetraclorurii de siliciu, purificarea acesteia și reducerea ei cu zinc sau cu hidrogen.

În vederea realizării unei purificări mai avansate a tetraclorurii de siliciu se utilizează diverse procedee de purificare, cel mai utilizat fiind distilarea fracționată.

## REZUMAT

**Conducția** la materialele semiconductoare se realizează prin deplasarea electronilor (sarcini negative) și a golurilor (sarcini pozitive). Materialele cu astfel de proprietăți sînt: carbonul, germaniul, siliciul, telurul, oxizii de cupru, sulfurile de cupru și plumb, seleniurile de cupru și argint etc.

Prin impurificarea semiconductoarelor se obțin semiconductoare de **tipurile** :

$n$  — conducția se realizează în principal cu electroni ;

$p$  — conducția se realizează în principal cu goluri.

Joncțiunea de tip  $p-n$  — **dioda semiconductoare** — are calități de redresoare.

Elementul semiconductor de tip  $p-n-p$  (sau  $n-p-n$ ) are rol de amplificare și este denumit **tranzistor**.

Semiconductoarele se **folosesc** la fabricarea termistoarelor, varistoarelor, redresoarelor, fotorezistențelor, celulelor fotoelectrice, tranzistoarelor.

## Verificarea cunoștințelor

1. Cum se explică conductibilitatea materialelor semiconductoare ? Care este influența temperaturii ?
2. Ce purtători de sarcină participă la conductibilitatea în semiconductoare ?
3. Ce sînt impuritățile donoare și acceptoare ?
4. Ce înseamnă conductibilitatea de tip  $n$  sau de tip  $p$  ?
5. Explicați ce se întîmplă la contactul dintre două cristale semiconductoare, unul de tip  $n$  și altul de tip  $p$ .

## Capitolul VII

### MATERIALE ELECTROIZOLANTE

**Materialele electroizolante** sau **dielectrice** sînt *materiale nemetalice care opun o rezistență foarte mare trecerii curentului electric atunci cînd sînt supuse unei tensiuni continue.*

Materialele electroizolante se întrebuintează în principiu pentru două scopuri :

— *pentru a forma izolația electrică între părțile conducătoare de curent care se găsesc la potențiale electrice diferite, pentru a împiedica trecerea curentului între aceste părți;*

— *pentru confecționarea condensatoarelor electrice (materialul electroizolant constituind dielectricul dintre armături).*

#### A. CARACTERISTICILE GENERALE ALE MATERIALELOR ELECTROIZOLANTE

Calitatea materialelor electroizolante se apreciază pe baza caracteristicilor electrice și a proprietăților neelectrice (proprietăți fizice, mecanice, termice, chimice).

##### 1. CARACTERISTICILE ELECTRICE

Cele mai importante caracteristici electrice sînt : *rezistivitatea, permitivitatea, rigiditatea dielectrică, tangenta unghiului de pierderi.*

##### a. Rezistivitatea

Materialele electroizolante folosite în tehnică nu sînt dielectrici perfecți, adică rezistența lor are o valoare foarte mare, dar nu infinită.

Puse sub tensiune, toate materialele electroizolante folosite în practică lasă să treacă prin ele un curent de valoare foarte mică, denumit *curent de scurgere.*

Ca și rezistența electrică a conductoarelor, **rezistența materialelor electroizolante** se definește ca fiind *raportul dintre tensiunea continuă  $U$  (exprimată în volți) și curentul de scurgere  $I_{sc}$  (exprimat în amperi) ce apare datorită tensiunii  $U$ .*

Conductivitatea electrică a materialelor izolante depinde de starea lor fizică-gazoasă, lichidă sau solidă — de temperatura și umiditatea mediului înconjurător.

*Gazele* au o conductivitate extrem de mică, rezistivitatea lor fiind de ordinul  $10^{18} \Omega \text{ cm}$ . În gaze curentul electric poate să apară numai când ele sînt ionizate, sub acțiunea unor factori externi (uneori și interni).

*La lichide* conductivitatea este influențată mult de conținutul de impurități (inclusiv apa și aerul), care sînt surse de ioni. Ea depinde mult și de temperatură, deoarece cu creșterea temperaturii crește mobilitatea ionilor ca urmare a micșorării viscozității.

*La dielectricii solizi*, conductivitatea electrică depinde de conținutul de impurități (inclusiv apă și aer), de structură (cristalină sau amorfă), de compoziție și temperatură. La acești dielectrici, curenții de scurgere pot să circule nu numai prin grosimea dielectricului, cum se întîmplă la dielectricii lichizi și gazoși, ci și de-a lungul suprafeței dielectricului (fig. 7-1). Corespunzător celor două căi de trecere a curentului, se iau în considerare *rezistivitatea de volum  $\rho_v$*  (la gaze, lichide și solide) și *rezistivitatea de suprafață  $\rho_s$*  (la solide) :

$$\rho_{total} = \frac{\rho_v \cdot \rho_s}{\rho_v + \rho_s}.$$

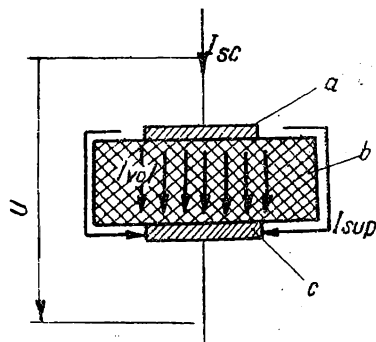


Fig. 7-1. Curenții de scurgere în cazul unui dielectric solid :

$a$  — anod ;  $b$  — material dielectric solid ;  $c$  — catod.

## b. Permitivitatea dielectrică

Dacă un material electroizolant este așezat între două plăci metalice (electrozi) legate la bornele unei surse de tensiune continuă  $U$ , se constată că pe plăci se acumulează sarcini electrice  $+Q$ , respectiv  $-Q$  (fig. 7-2). Dispozitivul se comportă ca un condensator de capacitate  $C$ .

Dacă se scoate materialul dintre cei doi electrozi și între ei se produce vid, la aceeași tensiune  $U$ , capacitatea dispozitivului va avea o valoare  $C_0$  mai mică decât  $C$ .

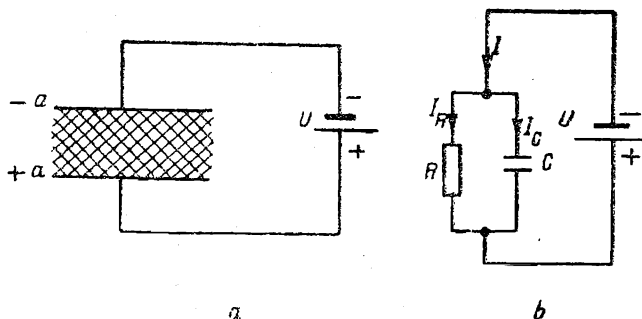


Fig. 7-2. Condensator electric :

a — condensator electric ; b — schema electrică echivalentă a condensatorului cu pierderi.

Raportul :

$$\epsilon = \frac{C}{C_0} \text{ (nu are dimensiuni)}$$

se numește **permitivitate** (sau constanta dielectrică) a materialului respectiv ; ea reprezintă *creșterea capacității unui condensator dat când între armături în loc de vid se află un anumit material dielectric*.

La gaze permitivitatea are o valoare foarte apropiată de cea a vidului, care se consideră egală cu unitatea ( $\epsilon = 1$ ). Ea depinde de presiune, temperatură și umiditate.

La dielectricii lichizi depinde de temperatură și poate avea valori foarte diferite.

Astfel, uleiul de transformator are  $\epsilon = 2,2 \dots 2,5$ , iar acetona are  $\epsilon = 2,2$ .

La dielectricii solizi permitivitățile sînt diferite, în funcție de structura lor.

Astfel parafina are  $\epsilon = 1,9 \dots 2,2$ , sulful are  $\epsilon = 3,6 \dots 4$ , unele calități de sticlă au  $\epsilon = 10 \dots 15$ , iar unele materiale ceramice pot ajunge la  $\epsilon = 1\,000$ .

### c. Rigiditatea dielectrică

Dacă între două armături între care se află un dielectric se aplică o tensiune  $U$ , prin dielectric va trece un curent a cărui valoare este relativ mică. Dacă valoarea tensiunii crește peste o anumită valoare, curentul crește brusc, străbătînd dielectricul sub forma unei descărcări

(arc, scînteie sau descărcare luminescentă — la gaze). În acest moment rezistența izolației scade brusc de la o valoare inițială foarte mare, pînă la o valoare foarte mică, producîndu-se străpungerea izolației.

*Tensiunea la care are loc străpungerea izolației se numește tensiune de străpungere.*

Valoarea acestei tensiuni constituie una dintre cele mai importante caracteristici ale izolației, pe baza ei apreciindu-se în ce măsură materialul respectiv asigură izolația corpurilor aflate sub tensiune.

Tensiunea de străpungere depinde de grosimea și de felul materialului izolant. Pentru fiecare material se stabilește o mărime care se numește *rigiditate dielectrică*.

**Rigiditatea dielectrică** reprezintă *tensiunea de străpungere a unui strat din materialul respectiv, care are grosimea de un milimetru.*

Rigiditatea dielectrică se exprimă în kilovolți pe milimetru [kV/mm] sau în kilovolți pe centimetru [kV/cm].

De aici reiese că tensiunea de străpungere a unui material de grosime  $h$  se obține aproximativ înmulțindu-se rigiditatea dielectrică a acestui material cu grosimea  $h$  pe care o are stratul izolant respectiv.

Rigiditatea dielectrică este influențată de cîțiva factori, și anume :

— dacă temperatura materialului trece peste o anumită limită, atunci este favorizată străpungerea termică a materialului ;

— cu cît durată de aplicare a tensiunii este mai mare, cu atît rigiditatea este mai mică ;

— cu cît frecvența tensiunii aplicate este mai mare, iar cîmpul dintre electrozi este mai neuniform, se produce străpungerea la o valoare mai redusă a tensiunii.

## d. Pierderile în dielectric

S-a arătat că dacă la bornele unui dielectric se aplică o tensiune, el este parcurs de un curent electric. Deoarece dielectricul prezintă o rezistență la trecerea curentului electric, el se încălzește.

*Energia electrică consumată de dielectric și care duce la încălzirea acestuia constituie pierderile dielectrice.*

**Observație.** Pierderile dielectrice se produc atît la tensiune continuă, cît și la tensiune alternativă. În cazul tensiunii continue, aceste pierderi se datoresc numai curenților de scurgere, care sînt foarte mici și deci pierderile în dielectric sînt extrem de mici.

Exemplu : Considerându-se  $1 \text{ cm}^3$  dintr-un material cu proprietăți inferioare, de exemplu cu  $\rho = 10^{10} \Omega \text{ cm}$  (deci la care  $R = \rho \frac{l}{s} = \rho \frac{1}{1} = 10^{10} \Omega$ ), la o tensiune de  $100 \text{ V}$ , curentul care trece este  $I = \frac{U}{R} = \frac{100}{10^{10}} = 10^{-8} \text{ A}$ . Pierderile vor fi :  $P = UI = 100 \cdot 10^{-8} = 10^{-6} = 0,000001 \text{ W}$ .

Dacă unui dielectric i se aplică doi electrozi conectați la o sursă de curent alternativ, dispozitivul se comportă ca un condensator (fig. 7-2, a). Dacă dielectricul ar fi perfect, adică în el n-ar exista pierderi, curentul care trece prin condensator are valoarea  $I = U \omega C$  ( $\omega = 2\pi f$  reprezintă pulsația tensiunii, iar  $C$  — capacitatea condensatorului). Pe baza cunoștințelor de la fizică și electrotehnică, în figura 7-3, a s-a reprezentat diagrama fazorială a curentului și tensiunii, în care fazorul reprezentativ al curentului  $I$  este defazat cu  $90^\circ$  înaintea fazorului respectiv al tensiunii  $U$ .

Deoarece dielectricul opune o rezistență trecerii curentului electric, dispozitivul din figura 7-2, a se comportă ca un condensator legat în paralel cu o rezistență (fig. 7-2, b). În acest caz curentul  $I$  din circuit are două componente : componenta  $I_R = \frac{U}{R}$ , reprezentată printr-un fazor în fază cu tensiunea (fig. 7-3, b), și componenta  $I_C = U\omega C$ , reprezentată printr-un fazor defazat cu  $90^\circ$  înaintea fazorului tensiunii  $U$ .

Curentul total  $I$  se obține prin însumarea grafică a componentelor  $I_R$  și  $I_C$  ; se constată că între fazorul tensiunii  $U$  și al curentului total  $I$  apare un defazaj  $\varphi$  mai mic de  $90^\circ$ .

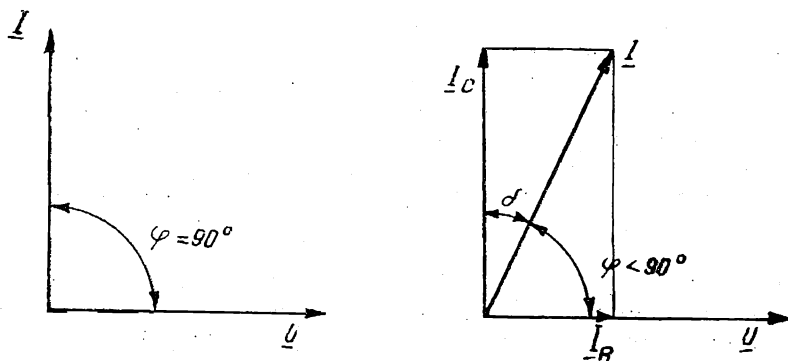


Fig. 7-3. Unghiul de pierderi dielectrice :  
 a — dielectric perfect ; b — dielectric cu pierderi.

*Diferența dintre defazajul introdus în cazul unui dielectric perfect ( $\varphi = 90^\circ$ ) și defazajul în cazul unui dielectric real cu pierderi ( $\varphi < 90^\circ$ ) se numește unghi de pierderi în dielectric și se notează cu  $\delta$  (delta) :*

$$\delta = 90^\circ - \varphi.$$

Pierderile în dielectric în cazul tensiunii alternative se calculează cu relația :

$$P = UI \cos \varphi = 2\pi f U^2 C \operatorname{tg} \delta,$$

unde  $\operatorname{tg} \delta$  are valori cuprinse între  $10^{-8}$  și  $10^{-1}$ .

**Concluzie.** Rezultă deci că pierderile în dielectric sînt cu atît mai mari cu cît crește tensiunea și frecvența.

## 2. PROPRIETĂȚILE NEELECTRICE

În afară de proprietățile electrice, materialele electroizolante se caracterizează prin anumite proprietăți fizice, mecanice și eventual chimice.

Proprietățile fizice care interesează sînt : *higroscopicitatea, conducibilitatea și stabilitatea termică, rezistența la variații bruște de temperatură și stabilitatea la temperaturi joase.*

### a. Higroscopicitatea

Prin **higroscopicitate** se înțelege *proprietatea materialelor de a absorbi umiditatea din mediul ambiant.*

Din punctul de vedere al acestei proprietăți, materialele se clasifică în :

— *materiale cu comportare foarte bună la umiditate*, cum sînt : bitumurile, rășinile epoxidice și siliconice, polietilena, mica pură, sticla, ebonita etc.;

— *materiale cu comportare bună la umiditate* : rășinile naturale, lacurile pe bază de rășini sintetice, mica cu liant de rășini siliconice și epoxidice, porțelanul, marmura, ardezia ;

— *materiale cu comportare satisfăcătoare la umiditate* : mica cu liant de șelac, poliamidele, lacurile uleioase, rășinile vinilice (materiale compacte) ;

— *materiale cu comportare slabă la umiditate*, cum sînt materialele fibroase, ca : lemnul, hîrtia, preșpanul, azbestul, bumbacul, mătasea.

Acastă proprietate este de o deosebită importanță, întrucît ea stă la baza alegerii materialelor care pot fi utilizate pentru izolarea echipamentelor care funcționează în mediul umed (echipamente navale, echipamente pentru mediul tropical etc.).

## **b. Conductibilitatea termică**

O altă caracteristică importantă a materialelor electroizolante este conductibilitatea termică. Cu cît materialul are o conductibilitate termică mai mare, cu atît el permite disiparea mai rapidă a căldurii pe care o primește de la părțile conducătoare de curent. În general, materialele organice au conductibilitatea termică mai redusă decît cele anorganice.

## **c. Stabilitatea termică**

*Stabilitatea termică arată comportarea la diferite temperaturi și se exprimă prin temperatura maximă pe care o poate suporta materialul, fără ca proprietățile lui electrice sau mecanice să se înrăutățească simțitor.*

După stabilitatea lor termică, materialele electroizolante utilizate în construcția mașinilor și a aparatelor electrice sînt împărțite în mai multe clase de izolație care sînt date în tabela 7-2.

● **Îmbătrînirea termică.** Dacă un material electroizolant are în timpul funcționării o temperatură mai mare decît cea prescrisă, aceasta duce la pierderea proprietăților electrice și mecanice. Acest proces se numește îmbătrînire termică.

Se constată că dacă nu se depășește o anumită limită de temperatură nu apar modificări periculoase în izolație și ea poate funcționa un timp practic nelimitat.

## **d. Rezistența la variații bruște de temperatură**

Rezistența la variații bruște de temperatură este o caracteristică importantă pentru materialele electroizolante fragile, cum sînt: sticla, ceramica etc., care la răcire sau la încălzire bruscă formează fisuri și crăpături.

## **e. Stabilitatea la temperaturi joase**

Stabilitatea la temperaturi joase este caracteristica materialelor electroizolante de a nu-și modifica proprietățile sub acțiunea temperaturilor joase. Este importantă mai ales pentru instalațiile electrice care lucrează afară, la temperaturi sub 0°C.

### 3. PROPRIETĂȚILE CHIMICE

Proprietățile chimice ale materialelor electroizolante care interesează sînt *solubilitatea* și *rezistența la acțiunea chimică*.

#### a. Solubilitatea

Aceste proprietăți au importanță la alegerea solvenților pentru lacuri precum și pentru aprecierea rezistenței materialelor electroizolante față de diferite lichide cu care vin în contact fie în tehnologia de fabricație a izolației, fie în exploatare.

De exemplu, există materiale care sînt solubile în ulei, ceea ce le face de nefolosit în construcția transformatoarelor.

#### b. Rezistența la acțiunea chimică

*Rezistența la acțiunea chimică sau stabilitatea chimică reprezintă rezistența materialelor electroizolante la acțiunea chimică a diferitelor substanțe cu care vin în contact.*

Materialele electroizolante sînt supuse acțiunii agenților chimici din atmosferă sau din mediul în care se află, care pot duce la deteriorarea lor. Acești agenți corosivi pot fi oxigenul, apa, acizii, bazele, amoniacul, anumite săruri, benzenul, hexanul etc.

### 4. CARACTERISTICILE MECANICE

În echipamentul electric, materialele electrice solide, în afară de solicitările electrice, trebuie să suporte și solicitări mecanice importante.

Caracteristicile mecanice care interesează sînt: *rezistența la tracțiune  $\sigma_r$ , rezistența la compresiune  $\sigma_c$ , rezistența la încovoiere  $\sigma_t$ , alungirea relativă la rupere; modulul de elasticitate, reziliența, duritatea, penetrația, viscozitatea.*

Modul în care materialele rezistă solicitărilor mecanice variază în funcție de natura acestora. Astfel, materialele ceramice, sticla rezistă bine eforturilor de compresiune, mult mai slab eforturilor de tracțiune și foarte slab sarcinilor de încovoiere sau celor aplicate brusc.

Materialele plastice pot în multe cazuri să fie casante la temperatura camerei; rezistența lor la rupere variază mult în funcție de temperatură și de viteza de aplicare a sarcinii.

Penetrația se determină pentru materialele relativ moi, ca bitumurile și masele de umplere, în timp ce viscozitatea prezintă o mare importanță pentru dielectricii lichizi, ca : uleiurile, lacurile, masele de umplere.

La materialele electroizolante fibroase sau stratificate, rezistența mecanică depinde mult de direcția de aplicare a forței (în direcția fibrelor sau perpendicular pe ele).

Rezistența mecanică a dielectricilor scade în general când crește temperatura. La materialele higroscopice ea depinde și de umiditate.

## B. DIVERSE TIPURI DE MATERIALE ELECTROIZOLANTE

Materialele electroizolante folosite în electrotehnică pot fi grupate în două categorii :

— *materiale electroizolante organice* — compuși ai carbonului cu alte elemente, ca : hidrogenul, oxigenul, azotul, sulful etc. ;

— *materialele electroizolante anorganice* — care nu au carbon în constituție.

Materialele electroizolante sînt solide, lichide sau gazoase.

Toate acestea, la rîndul lor, pot fi *naturale* sau obținute pe cale *sintetică*.

În tabela 7-1 se prezintă o clasificare a materialelor electroizolante folosite în electrotehnică.

Marea majoritate a materialelor electroizolante sînt de natură organică. Acestea, în general, sînt superioare materialelor electroizolante anorganice în ceea ce privește diversitatea proprietăților lor mecanice și electrice, și inferioare în ceea ce privește stabilitatea termică, chimică și rezistența la acțiunea umidității.

### 1. MATERIALE ELECTROIZOLANTE GAZOASE

Gazele se folosesc ca izolanți în special la instalațiile aeriene și la unele condensatoare.

În construcțiile moderne de mașini și aparate electrice se folosesc gazele în scopul realizării unei răcirii mai active. Cel mai mult se folosesc : aerul, argonul, azotul, hidrogenul, oxigenul, heliul, hexafluorura de sulf (elegaz), în măsură redusă — bioxidul de carbon și foarte rar amoniacul.

Tabela 7-1

## Clasificarea materialelor electroizolante

|                      | Stare de agregare | Naturale                                                    | Sintetice                                                                                                                                                                      |
|----------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Materiale organice   | gazoasă           |                                                             | — bioxidul de carbon<br>— amoniac                                                                                                                                              |
|                      | lichidă           | uleiuri — minerale<br>— vegetale                            | — sovolul<br>— sovtolul                                                                                                                                                        |
|                      | solidă            | materiale — ceara naturală<br>— parafina                    | — parafina sintetică<br>— vaselina                                                                                                                                             |
|                      |                   | rășini — șelac<br>— colofoniu<br>— chihlimbar               | — de polimerizare (polietilena, polistirenul, polichlorura de vinil)<br>— de policondensare (fenol-formaldehidice, bachelită, melaminice, glicolice, epoxidice)<br>— sintetice |
|                      |                   | bitumuri asfaltice                                          |                                                                                                                                                                                |
|                      |                   | materiale — lemnul<br>fibroase: — hirtia<br>— fibre textile | — fibre sintetice                                                                                                                                                              |
|                      |                   | materiale stratificate                                      | — pertinax<br>— textolit                                                                                                                                                       |
|                      |                   | lacuri și compounduri                                       | — de impregnare<br>— de acoperire<br>— lacuri de lipire                                                                                                                        |
|                      |                   | elastomeri — cauciucul natural                              | — cauciucul sintetic                                                                                                                                                           |
|                      |                   | materiale plastice                                          | — pe bază de rășini de policondensare<br>— pe bază de rășini de polimerizare<br>— din bitumuri                                                                                 |
| Materiale anorganice | gazoasă           | aerul, hidrogenul, azotul                                   |                                                                                                                                                                                |
|                      | solidă            | — azbestul<br>— mica<br>— ardezia<br>— talcul<br>— marmura  | — azbocimentul<br>— produse din mică<br>— sticla și produsele din sticlă<br>— produsele din ceramică                                                                           |

## Împărțirea materialelor izolante în clase de izolație

| Clasa | Temperatura care caracterizează stabilitatea termică a materialului din clasa corespunzătoare[°C] | Materiale izolante                                                                                                                                                                                            | Lianți, materiale de impregnare sau acoperire                          | Materiale de impregnare utilizate la tratarea echipamentelor instalate                                                           |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 2                                                                                                 | 3                                                                                                                                                                                                             | 4                                                                      | 5                                                                                                                                |
| Y     | 90                                                                                                | Bumbac<br>Mătase naturală<br>Lină sintetică<br>Mătase artificială<br>Fibră poliamidică<br>Hirtie și produse din hirtie<br>Preșpan<br>Fibră<br>Lemn<br>Rășină din anilină formaldehidică<br>Rășină carbamidică | fără                                                                   | fără                                                                                                                             |
|       |                                                                                                   | Polietilenă<br>Polistiren<br>Policlorură de vinil cu sau fără plastifiant<br>Cauciuc vulcanizat                                                                                                               | fără                                                                   | fără                                                                                                                             |
| A     | 105                                                                                               | Bumbac<br>Mătase naturală<br>Lină sintetică<br>Mătase artificială<br>Fibră poliamidică<br>Hirtie și produse din hirtie<br>Preșpan<br>Fibră<br>Lemn                                                            | fără                                                                   | Lac bituminos<br>Lac pe bază de rășini naturale sau sintetice, modificat cu ulei sicativ<br>Șelac, copal și alte rășini naturale |
|       |                                                                                                   | Materiale textile, impregnate cu lac, pe bază de bumbac, mătase naturală, mătase artificială sau fibră poliamidică<br>Hirtie lăcuită                                                                          | Lac pe bază de rășini naturale sau sintetice modificat cu ulei sicativ |                                                                                                                                  |

| 1 | 2   | 3                                                                                                                                                                                       | 4                                                                                                                                                                 | 5                                                                                                         |
|---|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | 105 | Lemn stratificat                                                                                                                                                                        | Rășini fenolformaldehidice                                                                                                                                        | Soluții sau suspensii de celuloză, esteri și eteri<br>Ulei izolanți și fluide dielectrice sintetice       |
|   |     | Folie de acetat de celuloză<br>Rășini poliesterice<br>Email pentru conductoare pe bază de ulei siccativ și rășini                                                                       | fără                                                                                                                                                              |                                                                                                           |
| F | 120 | Email pentru conductoare pe bază de acetat de polivinil, poliuretan, rășini epoxidice sau poliamidice<br>Rășini poliesterice<br>Folie de polycarbonat<br>Folie de triacetat de celuloză | fără                                                                                                                                                              | Lacuri pe bază de rășini sintetice, de asemenea rășini poliesterice modificate cu ulei, rășini epoxidice  |
|   |     | Piese formate cu umplutură de celuloză<br>Stratificate din bambac<br>Stratificate din hîrtie                                                                                            | Rășini melaminoformaldehidice<br>Rășini fenolformaldehidice                                                                                                       |                                                                                                           |
|   |     | Materiale textile tratate                                                                                                                                                               | Tereftalat de polietilenă                                                                                                                                         |                                                                                                           |
| B | 130 | Fibră de sticlă<br>Azbest                                                                                                                                                               | fără                                                                                                                                                              | Lacuri pe bază de rășini sintetice, de asemenea rășini poliesterice, modificate cu ulei, rășini epoxidice |
|   |     | Țesături din fibră de sticlă lăcuită<br>Azbest lăcuit                                                                                                                                   | Lac pe bază de rășini sintetice, de asemenea modificat cu ulei                                                                                                    |                                                                                                           |
|   |     | Produse din mică, cu sau fără material suport                                                                                                                                           | Șelac, asfalt sau compus de bitum<br>Lac pe bază de rășini sintetice, de asemenea rășini poliesterice, modificate cu ulei<br>Rășini epoxidice<br>Rășini alchidice |                                                                                                           |

| 1 | 2         | 3                                                                                                      | 4                                                                                                     | 5                                                                                                    |
|---|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B | 130       | Emailuri pentru conductoare pe bază de politereftalat                                                  | fără                                                                                                  |                                                                                                      |
|   |           | Fibră de sticlă stratificată                                                                           | Rășini melamino-formaldehidice<br>Rășini fenol-formaldehidice                                         |                                                                                                      |
| F | 155       | Fibră de sticlă<br>Azbest                                                                              | fără                                                                                                  | Rășini alchidice, rășini epoxi, rășini poliesterice și poliuretanice, rășini alchidice și siliconice |
|   |           | Țesături din fibră de sticlă lăcuită<br>Azbest lăcuit<br>Produse din mică, cu sau fără material suport | Rășini alchidice, rășini epoxi, rășini poliesterice și poliuretanice,<br>Rășini alchidice, siliconice |                                                                                                      |
|   |           | Emailuri de conductoare cu stabilitate termică mărită                                                  | fără                                                                                                  |                                                                                                      |
| H | 180       | Fibre de sticlă<br>Azbest                                                                              | fără                                                                                                  | Rășini siliconice                                                                                    |
|   |           | Țesături din fibră de sticlă lăcuite<br>Azbest lăcuit                                                  | Rășini siliconice<br>cauciuc siliconic                                                                |                                                                                                      |
|   |           | Produse din mică, cu sau fără material suport<br>Fibră de sticlă stratificată<br>Azbest stratificat    | Rășini siliconice                                                                                     |                                                                                                      |
| C | peste 180 | Cauciuc siliconic                                                                                      | fără                                                                                                  | fără                                                                                                 |

| 1 | 2         | 3                                                                                                                                              | 4                                                                                                    | 5                                                                                                  |
|---|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C | peste 180 | Mică, porțelan, și alte materiale ceramice, sticlă, cuarț (temperatura de funcționare maximă este limitată de proprietățile fizice și tehnice) | fără                                                                                                 | fără sau lianți anorganici ca sticlă sau ciment                                                    |
|   |           | Țesături de fibră de sticlă, tratate<br>Produse tratate din azbest, produse din mică                                                           | Rășini siliconice cu stabilitate termică mărită (temperatura de funcționare maximă admisibilă 225°C) | Rășini siliconice cu stabilitate termică mare (temperatura de funcționare maximă admisibilă 225°C) |
|   |           | Politetrafluoretilenă (temperatura de funcționare maximă admisibilă 225°C)                                                                     | fără                                                                                                 | fără                                                                                               |

Aerul ca material izolant are întrebuințarea cea mai generală.

● Datorită fluidității sale, aerul intră în interiorul mașinilor și aparatelor electrice, unde are rolul de material electroizolant, completând materialele electroizolante solide și lichide care se găsesc aici.

Sînt multe locuri unde aerul constituie unica izolație dintre conductoare. Astfel, între conductoarele liniilor aeriene nu există alt material izolant decît aerul.

Rigiditatea dielectrică a aerului este relativ mică. Ea este cuprinsă între 3 și 5 kV/mm, adică este cu mult mai mică decît valoarea rigidității dielectrice a materialelor electroizolante solide și lichide de calitate superioare.

Presiunea are o mare influență asupra valorii rigidității dielectrice a aerului și a celorlalte gaze. La creșterea presiunii, rigiditatea dielectrică a gazelor crește mult.

La întreruptoarele pînă la 1 000 V aerul formează izolația obișnuită între contacte. Pentru tensiuni înalte, unele întreruptoare folosesc aer comprimat pentru stingerea arcului electric, și anume aer la o presiune de 6 at, la tensiuni de 10...30 kV.

● Azotul și elegazul sînt gaze de mare stabilitate chimică și cu o tensiune de străpungere de 2,5 ori mai mare decît a aerului. Se folosesc în construcția cablurilor, transformatoarelor și a condensatoarelor electrice.

● **Hidrogenul**, datorită densității sale de 14,5 ori mai mici decât a aerului și a conductibilității termice de 6,69 ori mai mari se folosește la răcirea mașinilor electrice moderne de puteri foarte mari.

## 2. MATERIALE ELECTROIZOLANTE ORGANICE LICHIDE

Din această categorie fac parte *uleiurile minerale, vegetale și sintetice*

### a. Uleiuri minerale

Uleiurile minerale se extrag prin distilarea sub vid a petrolului. Uleiurile minerale utilizate în electrotehnică sînt : uleiul de transformator, uleiul de cablu, uleiul de condensatoare.

● **Uleiul de transformator** este întrebuințat în multe aparate, transformatoare, întreruptoare în ulei, reostate etc., pentru asigurarea unei bune izolații electrice.

*Există trei calități* de uleiuri pentru transformatoare și întreruptoare electrice. Ele se notează cu Tr 2 004, Tr 2 005 și Tr 2 005 A și se diferențiază în funcție de proprietățile fizico-chimice.

Una din caracteristicile cele mai importante ale uleiului ca material electroizolant este *rigiditatea sa dielectrică*.

STAS 811-67 stabilește următoarele valori minime pentru rigiditatea dielectrică :

- ulei Tr 2 004 : 150 kV/cm ;
- ulei Tr 2 005 și Tr 2 005 A : 125 kV/cm.

O rigiditate dielectrică redusă arată că uleiul este de calitate inferioară sau că în el există amestecuri de apă sau de diferite impurități.

Tot de importanță deosebită pentru uleiul de transformator este și *viscozitatea sa*. Pentru o bună circulație a uleiului în transformator (ceea ce asigură răcirea înfășurărilor și a miezurilor de fier) este necesar ca uleiul să aibă viscozitatea destul de redusă. Valoarea viscozității uleiului crește mult la scăderea temperaturii.

O altă caracteristică este temperatura uleiului la care amestecul de vapori de ulei cu aer se aprinde, la apropierea unei mici flăcări descoperite sau de la scînteie. Această temperatură se numește *punct de inflamabilitate* al uleiului.

Pentru micșorarea pericolului de incendiu este necesar ca punctul de inflamabilitate al uleiurilor de transformator să fie cît mai înalt.

Uleiul de transformator poate conține diferite *impurități* ca particule fibroase, substanțe rășinoase, apă etc.

Impuritățile se pot afla în ulei sub diferite stări : dizolvate în ulei, în suspensie (cînd particulele mici ale amestecurilor plutesc în ulei), depuneri pe fundul vaselor sau pe piesele aparatelor electrice cufundate în ulei, sau, în sfîrșit, plutind la suprafața uleiului.

Uleiul fiind higroscopic, unul dintre amestecurile cel mai des întîlnite este cel cu apă. Apa fiind mai grea decît uleiul se depune la fund.

Aerul poate forma, de asemenea, un amestec cu uleiul : el poate fi dizolvat în ulei sau se poate afla sub formă de bule.

Impuritățile din ulei sînt eliminate prin diferite metode fizice sau chimice.

● **Uleiul de cablu** poate servi, în primul rînd, la fabricarea masei de impregnare a hîrtiei de cablu, în care caz are în componența sa un procent de colofoniu pentru a i se mări viscozitatea și constanta dielectrică.

La tensiuni foarte înalte se utilizează cabluri cu circulație de ulei sau cu ulei sub presiune. În acest caz se folosește un ulei diferit, mai puțin viscos și care are proprietăți electrice superioare.

● **Uleiul de condensatoare** se fabrică prin epurarea uleiului de transformator cu ajutorul unor substanțe absorbante sau pe cale chimică. Apoi uleiul se filtrează și se prelucurează în vid pentru îndepărtarea aerului pe care îl conține.

Pentru a ușura impregnarea condensatoarelor cu izolație de hîrtie acestea sînt uscate în vid la 70...80°C timp de 10...12 h. După impregnare condensatorul se închide ermetic.

Uleiul de condensator are următoarele proprietăți :

- rigiditatea dielectrică 200 kV/cm ;
- $\operatorname{tg} \delta = 0,0002 \dots 0,0005$  la 20°C, 150 Hz ;
- este neutru din punct de vedere chimic.

## b. Uleiuri vegetale

Ele sînt extrase prin presare, din sămînța plantelor al căror nume îl poartă. Uleiurile vegetale au însușiri electroizolante bune, ceea ce le face utilizabile îndeosebi la fabricarea lacurilor sau la impregnarea materialelor dielectrice fibroase.

● Dintre aceste uleiuri, *singurul* ulei care se utilizează în industria electrotehnică în stare lichidă este **uleiul de ricin** care are viscozitate mai mare decît a uleiului de transformator și stabilitate chimică redusă. El se folosește pentru impregnarea hîrtiei de condensator.

### c. Uleiuri sintetice

Acestea au fost create cu scopul de a se obține materiale izolante lichide greu inflamabile și cu constantă dielectrică mare. Uleiurile sintetice se utilizează ca materiale dielectrice în condensatoare, avînd constanta dielectrică 5, ceea ce permite creșterea capacității condensatorului cu 25...40%.

● Din această categorie face parte **sovolul**. Sovolul este un lichid neinflamabil, transparent, incolor, viscos.

La baza obținerii sovolului stă gudronul de huilă.

Proprietățile dielectrice ale sovolului depind de temperatura la care el se găsește. Astfel, constanta dielectrică are valoarea maximă la temperatura de 10°C, această valoare fiind  $\epsilon = 5,4$ . La temperaturi mai ridicate sau mai scăzute, constanta dielectrică a sovolului scade.

Tensiunea sa de străpungere este foarte ridicată, atingînd valori apropiate de valorile tensiunii de străpungere a uleiului de transformator. În schimb, rezistivitatea sa este mai scăzută.

### 3. MATERIALE ELECTROIZOLANTE ORGANICE SOLIDE

#### a. Celuloza și produsele derivate pe bază de celuloză

Lemnul, hîrtia, fibra, precum și materialele textile, ca.: bumbacul, inul, cînepa, mătasea fac parte din categoria materialelor electroizolante fibroase.

Materialele fibroase se evidențiază prin rezistență mecanică mare și flexibilitate deosebită, prin posibilitățile multiple de prelucrare și prin faptul că nu sînt scumpe în comparație cu celelalte materiale electroizolante.

Au însă și o serie întregă de *dezavantaje* din punctul de vedere al proprietăților electroizolante și termice față de celelalte materiale electroizolante, și anume :

— datorită structurii fibroase, sînt foarte higroscopice, ceea ce face ca prin umezire să-și piardă proprietățile izolante (nu se pot deci uti-

liza ca materiale izolante, decât impregnate cu uleiuri, lacuri sau mase electroizolante) ;

— au porozitate mare (40...50%) și deci au practic rigiditatea dielectrică a aerului care umple porii ; dealtfel și rigiditatea dielectrică a celulozei, care stă la baza fibrelor respective, este destul de redusă ;

— nu pot suporta temperaturi prea ridicate.

● **Lemnul** este un material organic natural, ușor de prelucrat și cu rezistență mecanică bună. Este format din fire de celuloză legate între ele cu lignină\*.

În electrotehnică, lemnul se utilizează *ca material de construcție* supus la solicitări mecanice ușoare, cum sînt : distanțoare, piese de susținere a bobinajelor transformatoarelor, pene de creștătură a mașinilor electrice etc. De asemenea, se întrebuințează în construcția liniilor de telecomunicații și transport de energie electrică și poate fi folosit ca umplutură pentru obținerea amestecurilor de presare.

Lemnul, *ca material electroizolant*, nu poate fi utilizat decât impregnat.

Impregnarea lemnului se face după prelucrarea completă a pieselor folosind ulei de transformator, parafină, lacuri tip bachelită ; prin aceasta rigiditatea dielectrică a lemnului crește de la 20 la 60 kV/cm.

● **Hîrtia** este un material care se obține prin prelucrarea celulozei obținute din stuf, lemn (majoritatea cazurilor), în, bumbac sau zdrențe textile.

*Tipurile de hîrtie* utilizate în electrotehnică sînt următoarele : hîrtia de condensatoare, hîrtia de cabluri, hîrtia de telefonie, hîrtia de impregnare, hîrtia de rulare, hîrtia pentru micabandă, hîrtia pentru micafoliu și hîrtia pentru izolația tolelor.

— *Hîrtia de condensatoare* servește ca dielectric pentru condensatoare. Este unul din tipurile de hîrtie care trebuie să satisfacă condițiile cele mai exigente din punctul de vedere al rezistenței mecanice, al densității și al conținutului de substanțe chimice active.

Hîrtia de condensatoare trebuie să fie subțire, cu grosimi de ordinul micronilor și al zecilor de microni (0,006...0,034 mm), deoarece, pentru a se obține condensatoare de capacitate mare de joasă tensiune, trebuie ca distanța dintre plăci să fie cît mai mică.

Densitatea hîrtiei de condensatoare trebuie să fie foarte mare (1 g/cm<sup>3</sup> sau chiar mai mult).

---

\* *Lignina* este cel mai important component al lemnului, după celuloză.

Rezistența mecanică, în special rezistența la îndoire, trebuie să fie cât mai mare, pentru ca foițele extrem de subțiri să se poată întinde și înfășura pe secțiunile condensatorului fără să se rupă.

Rigiditatea dielectrică a hîrtiei de condensatoare atinge valori de 2 500...3 000 kV/cm, constanta dielectrică  $\epsilon = 4...5$ , tg  $\delta = 0,0025$ .

— Hîrtia de cabluri se utilizează la izolarea cablurilor de forță. Nu trebuie să conțină substanțe chimice active care să atace conductorul. Se fabrică cu grosimi de 0,08; 0,12 și 0,17 mm. Trebuie să aibă rezistență mecanică mare, pentru a putea fi înfășurată în jurul conductorului fără să se rupă. Se impregnează cu mase electroizolante compuse din ulei și colofoniu.

— Hîrtia de telefonie se utilizează la cablurile și la conductoarele de bobinaj. Are grosimea de 0,05 mm și o mare rezistență la răsucire.

— Hîrtia de impregnare se utilizează la fabricarea plăcilor de pertinax. Grosimea ei este de 0,12 mm. Trebuie să fie cu densitatea redusă (0,5...0,6 g/cm<sup>3</sup>), pentru a absorbi bine masa de impregnare cu care se fabrică pertinaxul (izoplacul).

— Hîrtia de rulare se utilizează la fabricarea tuburilor și a cilindrilor de hîrtie bachelizată, necesare în special în construcția transformatoarelor.

Are grosimile de 0,05 și 0,07 mm și densitatea de circa 0,6 g/cm<sup>3</sup>.

— Hîrtia pentru bandă de mică se fabrică din materii vegetale cu fibre lungi. Trebuie să fie de grosime foarte mică (0,0025...0,030 mm). Caracteristică este rezistența mare la rupere în lungul rolei (800 daN/cm<sup>2</sup>). Trebuie să fie foarte poroasă, pentru a permite o bună impregnare cu lacul de impregnare.

— Hîrtia pentru micafoliu se fabrică cu grosimea de 0,02 mm; este similară hîrtiei pentru banda de mică, fără a atinge însă performanțele ridicate ale acesteia.

— Hîrtia pentru tole servește la izolarea tolelor de transformatoare electrice și uneori de mașini electrice. Trebuie să fie de densitate redusă și cu grosimea de 0,03 mm.

— Cartonul electrotehnic (preșpanul) este de grosime mai mare decît hîrtia electrotehnică (0,1...5 mm).

Cartonul electrotehnic servește la izolațiile de creștătură ale mașinilor electrice, precum și la confecționarea de rondel, garnituri, carcase de bobine etc.

Cartoanele electrotehnice colorate, variind între galben și galben-roșcat, se fabrică în foi.

## b. Rășini

Rășinile sînt substanțe organice compuse, avînd o structură amorfă. Ele sînt foarte variate, atît ca compoziție chimică cît și ca proprietăți. La temperatura obișnuită sînt fragile atunci cînd sînt într-un strat gros, și relativ flexibile atunci cînd se află sub forma unor pelicule. Prin încălzire însă ele se înmoaie treptat, devenind plastice, iar la temperaturi mai ridicate ele devin lichide.

Rășinile sînt în general cleioase și aderă puternic la corpurile cu care sînt în contact.

Cele mai utilizate rășini în tehnica electroizolației nu sînt solubile în apă și sînt foarte puțin higroscopice. Ele sînt însă solubile în anumiți solvenți. Acest lucru stă la baza fabricării diferitelor lacuri de impregnare.

Utilizarea lor în tehnică este multiplă și extrem de importantă. Rășinile servesc la fabricarea maselor plastice, a lacurilor și a compun- undurilor.

Pe baza proprietăților pe care le au, rășinile se împart în două categorii distincte și anume: *rășini termoplaste* și *rășini termostabile*.

● **Rășinile termoplaste** se caracterizează prin aceea că după o încălzire la orice temperatură și răcite, ele își păstrează proprietățile de a se mai înmuia la o nouă încălzire și de a se dizolva în anumiți solvenți.

● **Rășinile termostabile** sau **termoreactive**, după o încălzire pînă la o temperatură caracteristică fiecărei rășini, un timp mai îndelungat, pierd proprietatea de a se topi și de a se dizolva. Se spune că aceste rășini se coc.

După acest proces de coacere (schimbări ale structurii chimice-polimerizare), izolația poate suporta temperaturi înalte fără a se înmuia.

După origine, rășinile se împart în *rășini naturale* și *rășini sintetice*.

● **Rășinile naturale.** În ceea ce privește originea lor, rășinile naturale pot fi *animale* (șelac) și *vegetale* (colofoniul, copalurile și chihlimbarul).

— *Șelacul* este un amestec de acizi organici cu compoziție chimică complexă; această rășină este produsul fiziologic al unor insecte care trăiesc pe ramurile unor copaci din ținuturi tropicale din sud-estul Asiei (India, Birmania etc.). Rășina se culege de pe ramurile copacilor, se curăță de impurități și se topește prin încălzire la circa 90°C, obținându-se la răcire șelacul.

În comerț, șelacul are 83...86% rășină propriu-zisă, 3...6% ceară, 2% umiditate și restul substanțe de natura colofoniului.

Șelacul se dizolvă în alcool, acid acetic, acid formic și altele. Este insolubil în hidrocarburi, grăsimi și uleiuri.

Șelacul se utilizează în special la fabricarea lacurilor de lipit, servind sub această formă la fabricarea micanitelor și a chiturilor. Se întrebuințează de asemenea ca lac de impregnare.

— *Colofoniul* este un amestec de acizi organici. El se obține din rășina unor conifere (mai ales brazi) prin distilare, după ce s-au înlăturat componentele volatile (mai ales terebentina).

Colofoniul este o substanță sticloasă, de culoare galben-deschis până la cafeniu-închis, după puritate.

Colofoniul este solubil în alcool, uleiuri, hidrocarburi, acid acetic etc. Prin dizolvare în uleiuri minerale se obțin uleiuri cu colofoniu, care se utilizează foarte mult la prepararea maselor de impregnare, a hîrtiei pentru izolația cablurilor de înaltă tensiune sau pentru umplerea manșoanelor de legătură sau de derivație ale acestor cabluri. Colofoniul mai servește la prepararea lacurilor și a compundurilor.

● **Rășini sintetice.** După natura reacției chimice din care provin, rășinile sintetice se clasifică în rășini sintetice de polimerizare și rășini sintetice de policondensare.

● **Rășinile sintetice de polimerizare** se obțin printr-o reacție de polimerizare, adică prin contopirea materiilor prime componente într-o moleculă mai mare, în prezența unor catalizatori. Cu cît reacția se face mai lent, cu atît moleculele sînt mai mari. Rășinile de polimerizare folosite în tehnică sînt termoplaste. Dintre acestea se menționează: polietilena, polistirenul, policlorura de vinil. În tabela 7-3 sînt date principalele caracteristici ale acestor materiale.

— *Polietilena* se obține prin polimerizarea la temperaturi și presiuni înalte a etilenei.

Polietilena obținută este un material solid prezentîndu-se sub aspectul unei mase albe ceroase, mai mult sau mai puțin transparente, cu structură semicristalină.

Obiectele din polietilenă se obțin prin procedeul de turnare prin injectare la temperatura de 180...240°C. Se poate lucra și prin presare sau vîlțuire la cald.

În țara noastră, piesele din polietilenă se produc la *Întreprinderea de materiale plastice* — București, iar conductoarele izolate cu polietilenă la *Întreprinderea de cabluri și materiale electroizolante* — București (I.C.M.E.).

— *Polistirenul* este o rășină sintetică obținută prin polimerizarea stirenului. Sub acțiunea căldurii și a temperaturii, el polimerizează ușor și fără catalizator.

Polistirenul se prezintă sub forma unei mase transparente și incoloră ca sticla.

Caracteristicile rășinilor electroizolante sintetice

| Denumirea materialului    | Caracteristici                  |                                                     |                               |                                |        | Rezistența la arc electric |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------|----------------------------|
|                           | Densitate [kg/dm <sup>3</sup> ] | Conductivitate termică 10 <sup>-3</sup> cal/ms grd. | Stabilitate la încălzire [°C] | Rigiditate dielectrică [kV/mm] | tg δ   |                            |
| Polietilenă               | 0,93                            | 7                                                   | 100                           | 18...20                        | 0,0002 | slabă                      |
| Polistiren                | 1,05                            | 1,9                                                 | 65...95                       | 20...35                        | 0,0002 | slabă                      |
| Politetrafluorură-etilenă | 2,2                             | 8,3                                                 | 260                           | 20...30                        | 0,0002 | foarte bună                |
| Policlorură de vinil      | 1,4...1,7                       | 2,2                                                 | 60...70                       | 14...20                        | 0,04   | slabă                      |
| Rășini fenol-formaldehide | 1,27                            | 3,6                                                 | 120                           | 12...16                        | 0,06   | slabă                      |
| Rășini melaminice         | 1,5                             | 7-10                                                | 100                           | 21...16                        | 0,045  | acceptabilă                |
| Epoxi 2 000               | —                               | —                                                   | 180                           | 26                             | 0,02   | bună                       |
| Siliconit R 202           | —                               | —                                                   | 180...220                     | —                              | —      | bună                       |

Polistirenul nu este higroscopic. Este solubil în benzen, benzină, toluen, produse clorurate. Este rezistent la acțiunea uleiurilor minerale, a alcoolilor și a acizilor.

Polistirenul se utilizează la fabricarea obiectelor din materiale plastice, la fabricarea lacurilor electroizolante și la impregnarea hârtiei de condensatoare.

— *Policlorura de vinil (PCV)* este rășina de polimerizare cea mai utilizată. Ea se obține prin polimerizarea clorurii de vinil. Policlorura de vinil rezultată din polimerizare se prezintă sub forma unei pulberi albe.

Se deosebesc două calități de PCV, care diferă în privința prelucrării.

*PCV-ul dur* se prezintă sub forma unui praf alb sau colorat.

Sub acțiunea presiunii și a temperaturii, din PCV-ul dur se obțin plăci, tuburi sau foi. Obiecte cu forme simple se obțin din PCV, prin presare la cald, iar în cazul formelor mai complexe se utilizează metoda presării prin injectare a materialului preîncălzit.

*PCV-ul moale* se obține din policlorură de vinil dură, prin adăugarea unui plastifiant. Se utilizează sub formă de tuburi, benzi, șnururi etc.

Policlorura de vinil moale se folosește pentru izolarea cablurilor și a conductoarelor electrice.

● **Rășinile sintetice de policondensare** se obțin printr-o *reacție de policondensare*, adică prin contopirea și regruparea moleculelor materiilor prime, astfel că rezultă două produse de reacție : o moleculă mai mare și molecule de apă.

Policondensarea este o reacție care se poate întrerupe în orice moment, pentru a fi apoi continuată. Reacția poate fi condusă pînă în punctul cînd materialul prezintă proprietăți favorabile prelucrării (solubilitate, viscozitate, înmuiere), ca apoi policondensarea să fie desăvîrșită la utilizarea produsului.

Rășinile de policondensare sînt *termoreactive*, cum este cazul rășinii fenol-formaldehidice, gliptalice, epoxidice, melaminice și *termoplaste*, ca de exemplu rășinile poliamidice.

— *Rășinile fenol-formaldehidice* se obțin prin policondensarea fenolilor cu aldehydă formică. Din această categorie fac parte rășina utilizată la fabricarea bachelitei.

*Bachelita* se obține în urma fierberii fenolului și a aldehydei formice, în prezența unui catalizator alcalin într-un vas special, deoarece se dezvoltă o mare cantitate de căldură în timpul reacției. După cîteva ore de fierbere se obține *rezolul* (sau „bachelită fază A”), care se trece într-un al doilea vas unde se produce o polimerizare suplimentară rapidă, obținîndu-se *rezetolul* (sau „bachelită fază B”).

Acesta se răcește în tăvi de tablă obținîndu-se o rășină casantă, cu aspect sticios, de culoare brună-roșcată. Acest material se pisează, se amestecă cu catalizatori și material de umplutură și se trece printr-un laminor de amestecare cu valțurile încălzite la 100°C. Plăcile scoase de la laminor se sparg și se macină, rezultînd praful de bachelită, care continuă procesul de policondensare în timpul presării în matriță, obținîndu-se produsul final — *rezit* (sau „bachelită fază C”).

Rezitul nu se topește prin încălzire, el putînd ajunge pînă la carbonizare și ardere fără a se înmuia. Nu se dizolvă în nici unul din solvenții cunoscuți, inclusiv alcoolul și acetona. El este rezistent din punct de vedere mecanic și are proprietăți electroizolante bune, dar nu rezistă la acțiunea arcului electric. Dacă este amestecat cu alcool, se obține lacul de bachelită, cu care se impregnează hîrtia și pînza necesară fabricării pertinaxului și respectiv textolitului. Se impregnează cu acest lac și lemnul, obținîndu-se lemn bachelizat.

Bachelita se întrebuințează în construcția de mașini și aparate electrice, la confecționarea plăcilor și cutiilor de borne, a carcaselor de aparate. Are dezavantajul că la temperaturi de peste 100°C se carbonizează cu timpul. Este casantă.

— *Rășinile melaminice* sînt obținute din hexametilen melamină.

Rășina melaminică cu umplutură de celuloză dă o masă de presare care se utilizează la fabricarea pieselor albe sau colorate. Duritatea

și reziliența lor este mai mare ; de asemenea este mare și rezistența la acizi și baze slabe și solvenți organici.

— *Rășinile gліptalice* se obțin prin policondensarea glicerinei și a anhidridei ftalice. Ele se utilizează sub formă de lacuri pentru lipirea micanitelor și la impregnarea izolației mașinilor și aparatelor electrice.

— *Rășinile epoxidice* sînt obținute din epiclorhidrină și fenoli polivalenți.

Rășinile epoxidice aderă bine la suprafața metalelor și a multor alte materiale. Ele au o stabilitate termică de 105...130°C și sînt rezistente din punct de vedere chimic. Ele au și proprietăți electrice și mecanice foarte bune.

Cu ajutorul acestor rășini se realizează o protecție la umiditate a transformatoarelor, a unor elemente electrotehnice și radiotehnice, fără a utiliza corpuri metalice ermetizante.

Rășinile epoxidice se utilizează ca rășini de lipire la cald sau la rece pentru metale, porțelan, materiale sintetice. Ele servesc și ca lianți pentru materialele stratificate de joasă presiune.

Din rășini epoxidice se fabrică și emailuri pentru izolarea conductoarelor. Se întîlnesc sub denumirile comerciale : Epoxi 2 000, Araldit B, Epon 828 etc.

— *Rășinile siliconice* (siliconii) au în constituția moleculei atomi de siliciu și de oxigen, la care se atașează radicalii organici.

Ele au proprietăți dielectrice foarte bune și stabilitate termică foarte ridicată, rezistă bine la arcul electric, la curenții de scurgere și în atmosferă de ozon.

Rășinile siliconice se folosesc drept cleiuri și lianți la fabricarea micanitei și a materialelor plastice stratificate din țesătură de azbest și sticlă.

În electronică, siliconii se întîlnesc sub formă de rășini, cauciuc siliconic etc.

Dacă izolația mașinilor se realizează cu materiale siliconice, atunci mașinile pot funcționa la temperaturi corespunzătoare clasei de izolație H.

— *Rășinile poliamide* se obțin prin policondensarea acidului adipic cu hexametilen diamină. Din această categorie de rășini fac parte fibrele sintetice : nailonul, perlonul, capronul, relonul.

Aceste rășini au rezistența mecanică și elasticitatea foarte mari. Se folosesc la fabricarea fibrelor sintetice, a peliculelor și a materialelor plastice.

În tabelă 7-3 se dau principalele caracteristici ale rășinilor folosite în electrotehnică.

### c. Bitumuri

**Bitumurile** sînt *amestecuri de hidrocarburi care conțin și cantități mici de oxigen și sulf*. Au culoare neagră sau brună-închis.

Bitumurile artificiale se obțin la distilarea produselor petrolifere. Bitumurile naturale, numite și „asfalturi”, provin din zăcămintele situate în apropierea zăcămintelor de țiței.

Bitumurile sînt termoplaste și au o higroscopicitate neglijabilă. Prin adăugarea de sulf ele devin termoreactive. Se dizolvă ușor în hidrocarburi aromatice, în uleiuri și mai greu în benzină. Nu se dizolvă în apă sau alcool.

Temperatura de înmuiere a acestor substanțe variază între 30 și 90°C. Pentru bitumurile speciale, această temperatură este de 110... 140°C, iar pentru cele asfaltice — de 135...140°C.

Bitumurile se utilizează la fabricarea lacurilor folosite la impregnarea izolației de bumbac, a înfășurărilor mașinilor electrice pentru compoundare. Ele se folosesc la fabricarea maselor de umplere pentru manșoane și cutii terminale, pentru umplerea cuvelor transformatoarelor de măsură, în construcția acumulateoarelor.

### d. Materiale plastice

**Materialele plastice** sînt materiale a căror prelucrare în piese finite se bazează pe *proprietatea lor de a se deforma plastic în anumite condiții de temperatură și presiune și de a păstra permanent forma primită*.

Ele au o întrebuințare largă în electrotehnică datorită bunelor caracteristici electrice, mecanice și tehnologice (prelucrabilitate etc.), pe care le posedă.

În general, materialele plastice cuprind două componente principale: *liantul* și *umplutura*. În unele cazuri, în compoziția materialelor plastice se introduc *plastifianți*, substanțe care măresc plasticitatea și micșorează fragilitatea materialului, și *coloranți*, substanțe care dau o anumită culoare masei plastice.

● **Liantul**, care este de natură organică (rășini, bitumuri), constituie elementul de legătură, de solidarizare a materialelor plastice.

● **Umplutura** poate fi de asemenea de natură organică (lemn, hîrtie, țesături din fibre organice, fibre organice) sau anorganică (talc, caolin, mică măcinată, fibre de azbest, țesătură de sticlă); ea are rolul de a ameliora caracteristicile mecanice ale materialului plastic și de a reduce considerabil prețul de cost, fiind mult mai ieftină în general

decît liantul ; are însă dezavantajul că mărind higroscopicitatea, înrăutățește proprietățile electroizolante ale materialului, în cazul în care este folosită în condiții de umiditate.

● **Plastifiantul** mărește fluiditatea amestecului, creînd posibilitatea umplerii în mai bune condiții a formelor complicate ale matrițelor în care se execută piese complexe.

După compoziția chimică și reacția de formare, materialele plastice se clasifică în :

- *materiale plastice din rășini sintetice de policondensare ;*
- *materiale plastice din rășini sintetice de polimerizare ;*
- *materiale plastice din bitumuri.*

Majoritatea materialelor plastice se înmoaie prin încălzire pentru a fi formate. După modul lor de comportare în acest proces ele se împart în :

- *materiale termoplastice* (se pot presa din nou) ;
- *materiale termoreactive* (nu mai pot fi modificate odată formate).

**No t ă.** Datorită faptului că în faza finală materialele termoreactive nu-și schimbă forma sub efectul căldurii și presiunii, ele se mai numesc (în faza de utilizare) și *termorigide*.

Din categoria materialelor termoplastice fac parte materialele pe bază de rășini polivinilice, poliamidice și bitumuri etc. Materialele plastice pe bază de rășini fenolformaldehidice, carbamidice, bachelite, fac parte din categoria materialelor plastice termoreactive.

## e. Materiale stratificate

**Materialele plastice stratificate sînt materiale plastice care au ca liant rășini organice sau lacuri silicoorganice, iar ca umplutură — materiale fibroase organice sau anorganice sub formă de țesătură sau împîslituri.**

Procesul tehnologic de fabricație a acestor materiale este următorul : impregnarea materialului fibros țesut sau a împîsliturii, tăierea la dimensiuni corespunzătoare a foi respective, suprapunerea numărului de foi corespunzătoare grosimii finale a plăcii, presarea la cald (între plăcile unei prese încălzite cu abur, cu rezistențe electrice sau prin curenți de înaltă frecvență), răcirea în presă și tăierea marginilor.

Cele mai cunoscute materiale plastice stratificate întrebuițate în industria electrotehnică sînt : *pertinaxul*, *textolitul* și *sticlotextolitul*. Ele se utilizează la plăcile de borne ale mașinilor electrice, plăcile izolante suport pentru aparate etc.

— *Pertinaxul.* Pertinaxul este format din hîrtie impregnată, avînd rol de umplutură, și bachelită, ca soluție de impregnare, deci ca liant.

Pertinaxul se produce în țară la I.C.M.E. — București în două calități: pertinax A, pentru aparate funcționând în ulei și pertinax B, pentru aparate funcționând în aer.

Pertinaxul se poate prelucra mecanic (se poate tăia, ștanța, găuri, freza).

— Textolitul. Acesta se deosebește de pertinax prin natura umpluturii, care este de data aceasta țesătură impregnată. Din această cauză este de câteva ori mai scump decât pertinaxul și bineînțeles cu rezistența mecanică superioară.

Textolitul se utilizează la confecționarea pieselor supuse la o mare uzură.

Din textolit, prin presare se fabrică piese de formele cele mai diferite (corpuri și carcase de aparate etc.).

I.C.M.E. — București fabrică două tipuri de textolit și anume: tip E, care are proprietăți electroizolante ridicate și tip C, care este folosit în special pentru rezistența sa mecanică superioară.

— Sticlotextolitul. Acesta are ca umplutură pânză de sticlă și ca liant — lacuri silico-organice, rășină melaminică, rășină epoxi, rășină fenolică sau alte rășini.

Proprietatea prin care sticlotextolitul se deosebește de celelalte două materiale este aceea că suportă temperaturi de lucru mult mai ridicate.

Sticlotextolitul are de asemenea calități superioare în ceea ce privește higroscopicitatea.

În afară de materialele stratificate sub formă de plăci se mai fabrică materiale stratificate sub formă de bare rotunde, tuburi sau cilindri de pertinax (hîrtie bachelizată), executați din hîrtie de rulare cu liant bachelitic; se realizează de asemenea piese de diferite forme presate în matrițe.

## f. Lacurile și compoundurile

● **Lacurile** sînt *soluții compuse dintr-o substanță de bază* cu foarte bune proprietăți dielectrice și *un solvent volatil*.

La uscarea lacului, solventul se volatilizează rămînînd baza lui, care se întărește formînd o peliculă de lac. Aceasta are calități electroizolante superioare, este aderentă și puțin higroscopică.

Baza lacului este constituită din rășini, bitumuri, uleiuri sicative (ulei de in și de tung) sau amestecuri de aceste substanțe, iar *solvenții* pot fi foarte diverși: produse petroliere (benzina), alcooli, glicerină, cloroform, nitrobenzen, sulfură de carbon etc.

● Una din clasificările uzuale ale lacurilor electroizolante se face **după modul de utilizare**, după care se deosebesc :

- lacuri de impregnare ;
- lacuri de acoperire ;
- lacuri de lipire.

**Lacurile de impregnare.** Servesc la impregnarea izolațiilor fibroase (hîrtie, carton, fibre, țesături etc.) și a bobinajelor mașinilor și aparatelor electrice.

Lacurile de impregnare trebuie să poată pătrunde bine în materialele componente ale izolației supuse impregnării.

Materialele tratate cu soluția de impregnare sînt supuse încălzirii, în scopul evaporării solventului și întăririi lacului.

**Observație.** Lacul, după uscare, trebuie să prezinte destulă elasticitate și suplețe, pentru ca pelicula să nu aibă încrețituri și zbrîcitură.

Temperatura de încălzire trebuie să fie suficient de scăzută (circa 120...130°C), astfel ca izolația care s-a impregnat să nu fie distrusă datorită acestei încălziri.

Viteza de întărire trebuie să nu fie prea mare, deoarece lacul se poate întări mai întîi la suprafață, împiedicînd astfel volatilizarea solventului din interior.

Din categoria lacurilor de impregnare fac parte lacurile uleioase, oleobituminoase, fenolaldehidice, siliconice, alchidice, epoxidice etc.

**Lacurile de acoperire.** Acestea servesc la formarea unor pelicule protectoare pe suprafețele pe care ele se aplică (unele părți de mașini sau aparate electrice care sînt deja izolate etc.).

În general acoperirea se face după impregnare.

*Emailurile* sînt o varietate de lacuri de acoperire cu capacitate puternică de a adera la suprafețele pe care sînt aplicate. Ele servesc la izolarea sîrmei de cupru, a tablei silicioase etc. Emailurile trebuie să prezinte aderență pe conductor, să fie elastice pentru a nu crăpa și a nu se coji în timpul executării bobinajelor ; de asemenea trebuie să aibă coeficient de dilatare liniară egal cu al metalului acoperit.

**Lacurile de lipire.** Acestea se folosesc în special la fabricarea produselor pe bază de mică, la care fulgii de mică trebuie lipiți între ei sau pe un suport. Pe lîngă proprietățile electroizolante și mecanice, aceste lacuri trebuie să prezinte și o putere de lipire deosebit de mare.

**Observație.** Este de reținut faptul că nu există o demarcație precisă între diferitele tipuri de lacuri. Astfel, unele lacuri de impregnare sînt și lacuri de acoperire, iar altele sînt folosite totodată și ca lacuri de lipire.

● **După modul cum se face uscarea lor**, se deosebesc următoarele tipuri de lacuri :

- *lacuri cu uscare la cald* (uscarea în cuptor) ;
- *lacuri cu uscare la rece* (uscarea în aer la temperatură normală).

Lacurile a căror uscare trebuie făcută la cald au ca bază o rășină termoreactivă.

Lacurile cu uscare la rece sînt lacuri cu solvenți volatili și a căror bază se întărește fără să necesite un tratament termic.

● **Compoundurile** sînt *amestecuri de bitumuri, ceruri, rășini, uleiuri neavînd în compoziția lor solvenți*. Masa izolantă se obține prin răcirea compoundului topit. Compoundurile nu pot să formeze pelicule.

**Compoundurile de impregnare** sînt bitumuri cu temperatură de înmuiere aleasă în mod corespunzător. Aceste bitumuri se topesc la temperaturi ridicate dar au proprietăți electroizolante bune, sînt rezistente la încălzire și la acțiunea solvenților.

Compoundurile asigură o impregnare mai rezistentă la umezeală și mai impermeabilă decît lacurile de impregnare.

În schimb fiind termoplastice, compoundurile sînt puțin rezistente la încălzire.

**Compoundurile de turnare** folosesc la umplerea spațiului din anumite aparate electrice, din mufele de legătură și din cutiile terminale de cabluri. Se introduc pentru a înlătura posibilitatea pătrunderii umezelii și pentru a mări rigiditatea dielectrică a izolației.

## 4. MATERIALE ELECTROIZOLANTE ANORGANICE

### a. Sticla

Sticla face parte din categoria materialelor electroizolante minerale, fiind utilizată mult în industria electrotehnică. Din sticlă se fabrică o serie întreagă de materiale, ca : țesăturile din sticlă, emailurile, sticla solubilă etc. De asemenea, din sticlă se realizează izolatoare, bariere de acumulare etc.

Substanțele componente de bază ale sticlei anorganice sînt bioxidul de siliciu, trioxidul de bor și fondanții (oxizi de sodiu, potasiu și calciu).

**Notă.** În anumite rețete de sticlă se mai introduc și oxizi de magneziu, de zinc, de bariu, de plumb.

**Tipurile de sticlă electroizolantă** utilizate pentru diferite scopuri în electrotehnică sînt următoarele :

- *sticlă pentru fibre* ;
- *sticlă pentru condensatoare* ;

- sticlă pentru emailare ;
- sticlă pentru instalații ;
- sticlă pentru baloane de lămpi ;
- sticlă de umplutură.

● **Sticla pentru fibre** se utilizează pentru fabricarea firelor de sticlă și a țesăturilor din fibre de sticlă utilizate ca material izolant rezistent la temperatură.

Firele de sticlă foarte subțiri, de 0,005...0,007 mm diametru, au o flexibilitate atât de mare, încît pot fi prelucrate prin procedeele obișnuite ale tehnologiei textile.

● **Sticla pentru emailare** este un tip de sticlă ușor fuzibilă, folosită la acoperirea cu un strat subțire izolant a diferitelor piese de metal, vase reflectoare, rezistențe electrice etc. pentru protejarea împotriva coroziunii.

● **Sticla pentru lămpi electrice și tuburi electronice** se utilizează atât la executarea baloanelor lămpilor, cît și a piciorușelor pe care se fixează electrozii de prindere a filamentului.

Sticla utilizată pentru aceste scopuri trebuie să aibă coeficientul de dilatare cît mai apropiat de cel al metalului din care se execută firele de ieșire ale electrozilor.

Întreprinderea de lămpi electrice „*Steaua electrică*” — Fieni produce începînd din anul 1957 această categorie de sticlă, cu materiale indigene. Alte categorii de sticlă electrotehnică sînt produse la Întreprinderea „*Electrofar*” din București.

## b. Ceramica electrotehnică

Materia primă pentru fabricarea materialelor ceramice este constituită din *materiale formabile* (caolinul, argila, talcul, steatita) și *materiale neformabile* (fondanți și degresanți).

*Caolinul* este o argilă pură, de culoare deschisă, care la 250°C își pierde plasticitatea. *Argila* conține în plus față de caolin, cuarț, hidroxid de fier, carbonați și silicați de calciu.

*Ca fondanți* se utilizează feldspatul, magnezita, marmura, iar *ca degresanți* — cuarțul, oxidul de magneziu și șamota.

Caracteristicile ceramicii electrotehnice sînt : stabilitatea la acțiunea umezelii, a temperaturii și agenților chimici, rezistența la acțiunea sarcinilor mecanice, permitivitatea mare, practic invariabilă cu temperatura, pierderile dielectrice mici, coeficientul de contracție foarte mare și variabil în timpul arderii, fragilitatea mare și lipsa de rezistență la șocuri termice.

**În funcție de destinație**, ceramica electrotehnică se poate împărți în următoarele grupe principale :

— *materiale ceramice pentru instalații izolatoare de joasă și înaltă tensiune*, dintre care : *porțelanul de izolatoare și steatită* ;

— *materiale pentru condensatoare*, care au constantă dielectrică foarte mare în comparație cu celelalte materiale izolante ( $\epsilon_r = 55 \dots 160$ ). Componentul principal al acestui tip de material este *rutelul* (bioxidul de titan) ;

— *materiale ceramice poroase*, folosite la fabricarea de suporturi pentru rezistențele corpurilor de încălzit, la camerele de stingere a arcului electric, la aparatele electrice etc. Pentru reostate și aparate la care se ating temperaturi pînă la 200°C, se utilizează *piatra de porțelan și șamota* (tabela 7-4). Pentru temperaturi mai mari, pînă la 900°C, se folosesc materiale ceramice poroase și steatită. Pentru cuptoare electrice se folosesc mase de *șamotă cu argilă și corund*. În tabela 7-4 sînt date compozițiile și proprietățile acestor materiale.

Tabela 7-4

**Materiale ceramice. Compoziție și proprietăți**

| Denumire                   | Compoziție                                                           | Rezistența la rupere la tracțiune<br>$\sigma_r 10^{-2}$<br>(DaN/m <sup>2</sup> ) | Constanta dielectrică<br>$\epsilon_v$ | Rigiditatea dielectrică<br>[kV/nm] | Rezistivitatea                        |                  | Coef. de dilatare liniară<br>$\alpha 10^{-6}$<br>[gr- <sup>2</sup> ] | Unghiul pierderilor dielectrice la frecv. radio [min] |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                            |                                                                      |                                                                                  |                                       |                                    | $\rho_v$<br>[ $\Omega$ m]<br>la 100°C | $\rho_r$         |                                                                      |                                                       |
| Porțelan pentru izolatoare | caolin, argilă refractară, cuarț, feldspat                           | 2...3                                                                            | 5,5...6                               | 10...20                            | 10 <sup>9</sup>                       | —                | 4,5                                                                  | 30...35                                               |
| Porțelan pentru radio      | argilă, cuarț, carbonat de bariu                                     | 2,5...3,5                                                                        | 6...6,5                               | 15...20                            | 5 × 10 <sup>11</sup>                  | 10 <sup>11</sup> | 3,8                                                                  | 10...12                                               |
| Steatită normală           | talc, steatită, argilă, magnezină                                    | 3...4,5                                                                          | 6...6,5                               | 20...25                            | 5 × 10 <sup>11</sup>                  | —                | 7                                                                    | 7...8                                                 |
| Steatită specială          | idem, plus carbonat de bariu sau calciu                              | 4...5                                                                            | 6...6,5                               | 20...25                            | 10 <sup>12</sup>                      | —                | 7,7                                                                  | 1,5...2                                               |
| Șamotă                     | 25...41% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>70...56% SiO <sub>2</sub> |                                                                                  |                                       |                                    | 40...60<br>la<br>1 200°C              |                  |                                                                      |                                                       |

● **Porțelanul de izolatoare** este compus din caolin, argilă, feldspat și cuarț. El are o rezistență bună față de agenții chimici și se comportă bine în atmosferă umedă și la temperatură ridicată; este însă fragil și are o rezistență limitată față de șocurile termice.

● **Steatita** este un material ceramic pe bază de talc. Ea are proprietăți mecanice mai bune și pierderi dielectrice mai reduse decât porțelanul; comportarea la arc este de asemenea mai bună. Din această cauză steatita este preferată uneori la fabricarea izolatoarelor de înaltă tensiune.

● Pentru instalații de înaltă frecvență sînt necesare materiale cu pierderi dielectrice foarte mici, stabilitatea termică ridicată, posibilitatea de a da pieselor forme diferite, uneori foarte complicate și de dimensiuni cît mai precise. Din această categorie fac parte **porțelanul de radiofrecvență**, în a cărui compoziție intră carbonatul de bariu, iar feldspatul este înlocuit cu oxizi de sodiu și potasiu, și **steatita specială**, care se deosebește de steatita normală prin faptul că se folosește talc cu granulație foarte fină și adaos de carbonat de bariu.

### c. Mica și produsele de mică

● **Mica** este unul dintre cele mai importante materiale electroizolante din categoria materialelor minerale naturale.

Mineralele de mică sînt silicați dubli de aluminiu și potasiu sau sodiu.

Ca material izolat, în electrotehnică se utilizează următoarele sortimente: *mica muscovit* și *mica flogopit*. Rigiditatea dielectrică a acestor materiale este foarte bună, flexibilitatea este foarte mare chiar și la lamelele cele mai subțiri iar din punctul de vedere ale stabilității termice se situează în categoria materialelor de clasa C.

Rezistența lor mecanică este mare (în special la compresiune), iar higroscopicitatea extrem de redusă.

Dat fiind aceste proprietăți, mica este izolația de bază a mașinilor electrice de puteri mari și tensiuni înalte, precum și a unor subansambluri cu mari solicitări mecanice și condiții speciale de funcționare, cum ar fi colectoarele mașinilor de curent continuu. Avînd tg δ mică, aceste materiale se întrebunțează de asemenea în construcția condensatoarelor și a unor piese de radiotehnică.

În țara noastră se găsește mai mult mică muscovit, în special în Munții Lotrului și la Răzoare, lângă Cluj-Napoca. Mica brută, așa cum se găsește în natură, se extrage sub formă de plăcuțe cu lățimea de 10...50 mm și grosimea de 10...30 mm.

Pentru eliminarea diferitelor incluziuni se execută operația de despicare în foi de grosimi mai mari de 0,1 mm, obținîndu-se *mica despi-*

cată. Desfacerea în continuare în foițe de mică din ce în ce mai subțiri, cu grosimi cuprinse între 0,005 și 0,050 mm, constituie operația de șpaltare, obținându-se *mica șpalt*.

În funcție de suprafața cristalelor de mică șpaltată, se face sortarea acestora în opt calități, cea mai bună și cea mai scumpă fiind bineînțeles aceea care conține cele mai mari cristale (peste 50 cm<sup>2</sup> suprafața dreptunghiului înscris, unele atingând chiar suprafața de peste 200 cm<sup>2</sup>).

Din cristalele de mică se ștanțează rondele și garnituri. De asemenea se execută plăcile pentru dielectricii condensatoarelor pentru piese izolante din interiorul tuburilor electronice etc.

Din deșeuri se obțin, prin măcinare în pulbere, materii prime pentru materiale plastice (micalexul) sau pentru materiale termoizolante.

Mica flogopit admite temperaturi de lucru mai mari decât muscovitul, mergînd pînă la 800°C. Calitățile mecanice sînt însă inferioare.

În funcție de proprietățile lor, cele două calități de mică au utilizări diferite.

Mica muscovit, la care tg δ are valoarea redusă, se utilizează în special ca dielectric în condensatoare și ca izolație de înaltă frecvență (în radiotehnică). Mica flogopit se utilizează de preferință pentru izolația dintre lamelele colectoarelor.

Materialele electroizolante pe bază de mică se obțin prin *lipirea foițelor de mică*.

- **Micanitele** sînt materiale produse prin lipirea foițelor de mică de șpalt de calitate inferioară și cu suprafața mică (0,5...4 cm<sup>2</sup>) cu ajutorul unui lac de lipit corespunzător sau cu rășină uscată sub formă de pulbere.

Micanitele pot fi fără suport sau cu suport de hîrtie sau țesătură textilă. *Micanitele fără suport* sînt micanita de colector, micanita de garnituri, micanita de formare, micanita flexibilă, iar *micanite cu suport* — micafoliul și micabanda.

**Micanita de colector** servește la confecționarea lamelelor izolante, care se așază între lamelele de cupru ale colectorului. Materialele componente ale micanitei de colector sînt foițele de muscovit sau de flogopit cu dimensiuni mici (5 cm<sup>2</sup>), amestecate cu fulgi de mică, a căror suprafață este și mai redusă, coborînd pînă la 0,5 cm<sup>2</sup>. Ca liant se utilizează șelacul sau rășina gliptalică.

I.C.M.E. — București produce micanită de colector din mică muscovit de grosimi de 0,5...2,5 mm, dar cea mai uzuală grosime este de 0,8 mm.

**Micanita de garnituri** se utilizează la confecționarea garniturilor și a rondelor ștanțate. Se deosebește de micanita de colector prin con-

ținutul de liant, care este mai mare (15...25%). Se livrează presată și calibrată, la grosimi de 0,5...2 mm, sau numai presată, la grosimi de 0,5...3 mm.

Micanita de colector și micanita de garnituri sînt micanite tari (cu duritate mare). Ele rămîn dure la orice temperatură.

**Micanita de formare** este o micanită tare, la temperatura normală, înșă se modelează la cald, menținîndu-și forma după răcire. Ea se utilizează la confecționarea pieselor de izolare ale colectoarelor mașinilor electrice, la confecționarea de carcase izolante pentru bobine și la confecționarea izolației de creștătură la mașinile electrice mari de înaltă tensiune.

Posibilitatea de modelare o creează faptul că această categorie de micanită conține liant mai mult și se confecționează din foi de mică de dimensiuni mai mari (6...15 cm<sup>2</sup>).

I.C.M.E. — București produce din mică muscovit avînd ca liant rășină gliptalică, atît micanită de formare presată și calibrată (0,5...3 mm), cît și necalibrată și mai subțire (0,15...0,3 mm); de asemenea, produce piese izolante de colector.

Rigiditatea dielectrică este mai mare decît cea a micanitelor tari.

**Micanita flexibilă** este flexibilă chiar și la temperatura de 20°C. Ea se utilizează la izolarea diferitelor părți ale mașinilor și aparatelor electrice (garnituri flexibile, izolație de creștătură).

Liantul este lac oleobituminos sau lac oleogliptalic în proporție de 10...25% din greutate.

**Micanita refractară** se utilizează pentru executarea izolației aparatelor de încălzit. La temperaturile înalte care se dezvoltă în aceste aparate, sînt necesare micanite speciale fabricate din mică flogopit, rezistentă la temperaturi mari și cu lianți anorganici.

**Micabanda** este o varietate a micanitelor flexibile, care se livrează în role cu lățimea variînd între 15 și 35 mm, tăiată din rulouri cu lățimea de minimum 400 mm. Micabanda se poate realiza cu grosimi mici (0,08...0,17 mm), deoarece ea se execută dintr-un singur strat de mică (foițe 10...40 cm<sup>2</sup> suprapuse pe maximum 1/3 din suprafața lor), avînd hîrtie specială aplicată pe ambele părți. Liantul este lacul oleobituminos sau oleogliptalic.

În afară de micabandă cu suport de hîrtie specială, se mai execută micabandă cu suport de mătase subțire sau țesătură de sticlă.

La noi în țară se fabrică la I.C.M.E. — București micabandă neagră pe bază de lac oleobituminos. Ea este flexibilă la temperatura de +20°C. Se utilizează la izolarea barelor bobinelor executate din cupru blanc și a bobinelor rotorice și statorice ale mașinilor de tensiune înaltă sau de clasă ridicată de încălzire; de asemenea, micabanda se utilizează la izolarea bobinajelor mașinilor destinate a funcționa în mediu umed.

**Micafoliul** este o variantă a micanitei de formare și are pe o față un suport constituit din hîrtie specială, groasă de 0,05...0,06 mm.

Liantul este constituit din lac gliptalic sau oleogliptalic cu bachelită sau șelac.

Are avantajul că în momentul formării se poate supune la eforturi mari de întindere, putîndu-se înfășura strîns în momentul modelării.

I.C.M.E. — București fabrică micafoliu în coli sau în rulouri cu lățimea de 500 sau 1 000 mm, din mică muscovit cu liant gliptalic sau șelac. Grosimile uzuale sînt 0,15 ; 0,2 și 0,5 mm.

**Notă.** Dacă pentru suport se folosește o țesătură de sticlă în loc de hîrtie, se obține *sticlomicafoliul*.

**Micalexul** se fabrică din pulbere de mică presată cu sticlă ușor fuzibilă și are temperatura de lucru 350°C. Se fabrică sub formă de foi, plăci, bare, care se pot strunji, freza, găuri, șlefui ; din micalex se pot turna diferite piese.

Acest material este utilizat în special în construcția aparatelor de înaltă frecvență.

**Hîrtia de mică** se fabrică din deșeuri de mică. Se obțin foi subțiri, asemănătoare unei hîrtii transparente, care se pot lipi la cald cu șelac, obținîndu-se plăci de 0,5...20 mm grosime, denumite *novomicanit*. Acesta conține 82% mică și restul lac și are proprietăți electrice și mecanice superioare micanitelor fabricate din mică spaltată.

#### **d. Azbestul și produsele de azbest**

**Azbestul** este un material anorganic fibros, cu structură cristalină, compus din silicat de magneziu, combinat cu diferiți oxizi metalici.

În electrotehnică, cel mai folosit sort de azbest este *azbestul crysotil* sau *serpentin*.

Azbestul se exploatează aproape exclusiv în subteran. Extracția constă din dinamitarea rocii, sortarea pietrelor rezultate și scoaterea primelor fibre, care se pot detașa cu mîna sau ciocanul. Azbestul extras manual are fibre mai lungi decît 18...20 mm, cel extras mecanic are fibre mai scurte.

Azbestul se clasifică în șase sorturi, după lungimea fibrelor, dimensiunea ochiurilor sitei prin care trece, precum și după *textura* fibrelor ; *aspră*, *semiaspră* și *moale*. În afară de aceasta, mai există și sortul în formă de pulbere, care se folosește ca material de umplutură la prepararea anumitor materiale plastice.

Azbestul nu poate fi întrebuințat la tensiuni și la frecvențe înalte, fiind higroscopic.

Fibrele de azbest se folosesc ca izolații rezistente la temperaturi ridicate (termocupluri etc.), la fabricarea produselor de azbest și la fabricarea anumitor materiale plastice.

Principalele produse de azbest sînt : *fibrele de azbest, sfoara de azbest, țesăturile de azbest, hîrtia și cartonul de azbest.*

● **Fibrele de azbest răsucite** se fabrică din fibre cu grosimea de 60...100 mm, obținute prin prelucrarea chimică și mecanică a azbestului.

● **Sfoara de azbest** se obține prin răsucirea mai multor fire. La grosimi de peste 6 mm ea are o inimă din fire răsucite, înfășurată cu un fir simplu. Se fabrică cu grosimi de 3...25 mm.

● **Țesăturile de azbest** se fabrică din fire de azbest și fire de bumbac, cu grosimi diferite și bandă cu lățimea de 25 mm. Dau rezultate bune cînd sînt impregnate cu lacuri bituminoase, oleobituminoase, gliptalice etc.

● **Hîrtia de azbest** pentru izolații electrice se fabrică în foi (0,5...1,5 mm grosime) sau în rulouri (0,3...0,65 mm grosime) de două tipuri :

- din fire de azbest și de bumbac ;
- numai din fire de azbest.

Se folosește la izolarea spirelor și la fabricarea izoplacului, rezistent la temperatură. Lacurile bituminoase îi ridică rigiditatea dielectrică, îi măresc simțitor rezistența electrică inferioară și de suprafață.

● **Cartonul de azbest** este mai mult un material ignifug sau termoizolant ; în izolații electrice se întrebuintează numai împregnat cu lacuri bituminoase sau gliptalice. Se fabrică de două tipuri : fără umplură și liant ; cu umplură anorganică și liant.

## 5. MATERIALE ELECTROIZOLANTE REZISTENTE LA CONDIȚII TROPICALE

În momentul de față, înfăptuind cu succes industrializarea socialistă, țara noastră are posibilitatea să exporte o serie de produse electrotehnice în diverse țări, dintre care unele cu climă tropicală. Astfel problema „*tropicalizării*” este, pentru industria electrotehnică, pe primul plan.

● **Tropicalizarea** fabricatelor electrotehnice înseamnă utilizarea pentru execuția acestora, a materialelor care să reziste condițiilor tropicale,

caracterizate prin temperatură și umiditate ridicată, eventual vânt și nisip, radiații solare puternice, acțiunea ciupercilor și bacteriilor, a termitelor etc.

*Mucegaiul și bacteriile distrug materialele electroizolante, datorită acizilor pe care îi produc, precum și prin faptul că pătrund în interiorul materialelor creînd canale capilare care permit pătrunderea umidității.*

*În anumite regiuni ale Africii, Americii de Sud, Indiei, Malaeziei și Australiei există pericolul de distrugere a materialelor electroizolante prin acțiunea termitelor.*

Pentru ca un lac electroizolant să poată fi utilizat în condiții tropicale, trebuie ca pelicula respectivă să fie foarte tare, netedă și nehi-groscopică și să conțină și substanțe care distrug ciupercile, eventual și substanțe care să averseze materialul de termite.

● Depunerea mucegaiului se poate evita folosind materialele în atmosfere uscate și prin introducerea în materiale a **substanțelor fungicide** sau **fungistatice** (care întârzie dezvoltarea ciupercilor) sau folosirea acestor substanțe în stare gazoasă în încăperile conținând mașinile și aparatele de protejat.

*Cel mai bun fungicid pentru lacuri, textile și substanțe sintetice vinilice este octochinolatul de cupru, din care este suficientă o cantitate de 5% introdusă în materialul de protejat.*

*Alte substanțe fungicide sînt : pentaclorfenolul de sodiu, triclorfenatul de sodiu, anhidrida salicilică și combinațiile fenil-mercur.*

● Cele mai potrivite **lacuri pentru tropicalizare** sînt :

— cele pe bază de rășini fenolice, chiar cele ușor modificate cu ulei ;

— cele pe bază de rășini aldehydice, modificate cu rășini carbamidice și melaminice, conținînd și fungicide ;

— lacuri siliconice.

● **Hîrtia și țesăturile lăcuite** pentru condițiile tropicale se impregnează cu lacuri fenolice.

*Țesăturile din fibre de sticlă se impregnează cu lac fenolic (bachelit) sau siliconic.*

● Pentru *conductoarele înfășurărilor* mașinilor, transformatoarelor și aparatelor electrice, izolația indicată este cea din **fibre de sticlă** impregnată.

● **Izolplacul, textolitul și preșpanul** în condiții tropicale se utilizează numai tratate.

Se poate utiliza un izoplac special, cu conținut bogat de rășină; găurile și tăieturile de orice fel trebuie protejate cu lacuri de calitate corespunzătoare.

Ca hîrtie, la fabricarea acestui izoplac se utilizează hîrtia tratată cu acid acetic, indicat fiind din cauza slabei sale higroscopicități.

Pentru fabricarea textolitului care trebuie utilizat în condiții tropicale se utilizează țesătura din sticlă și rășină fenolică, melaminică sau siliconică.

● **Materialele plastice** de tipul fenoplastelor cu umplutură minerală rezistă destul de bine în condiții tropicale. Trebuie evitată umplutura din făină de lemn, precum și cea din fibre textile.

Se folosesc, de asemenea, masele plastice pe bază de rășini melaminice.

● **Cauciucurile**, în special cele naturale, sensibile la radiațiile solare și ozon sub acțiunea cărora devin casante, nu vor fi utilizate pentru izolația conductoarelor.

● **Mica și produsele de mică**, în special cele obținute prin combinarea cu mătase de sticlă, sînt folosite în climat tropical ca izolație pentru creștăturile mașinilor electrice.

● **Materialele termoplastice** ca : PCV, cu sau fără plastifiant, polietilena, politetrafluoretilena, tereftalatul de etilen (mylar, terylen), polistirenul, polimetil metacrilatul, neoprenul și rășinile epoxi, sînt indicate pentru tropicalizare, datorită lipsei lor de higroscopicitate ; siliconii și materialele clorurate sînt perfect rezistente la clima tropicală și nu sînt atacate de ciuperci.

● **Sticlele** rezistă în general bine la clima tropicală ; de asemenea, ceramicile glazurate sau bine șlefuite.

● **Azbestul** se utilizează în amestec cu naftalină clorurată (halovaxul).

● **Lemnul de stejar** lăcuit cu lacuri potrivite poate suporta clima tropicală.

● **Cleirurile** care se vor utiliza sînt numai cele pe bază de rășini sintetice.

**Notă.** Din materialele utilizate în construcțiile electrotehnice, următoarele nu sînt atacate de termite : fierul, betonul, rocile și dintre izolante : ceramicile, sticla, materialele plastice și stratificate fenolice și melaminice cu umplutură potrivită, halovaxul (clornaftalina) și PCV-ul tare. Toți izolanții de natură vegetală și animală și numeroase fibre sintetice sînt roase de termite foarte repede (poliamidele și mătasea de acetat sînt ceva mai rezistente). Hrana de bază a termitelor este lemnul.

**Materialele electroizolante** sau dielectrice sînt materialele nemetalice folosite pentru a forma izolația electrică între părțile conducătoare de curent care se găsesc la potențiale electrice diferite și pentru confecționarea condensatoarelor electrice.

**Proprietățile electroizolante** ale unui material se apreciază pe baza următoarelor caracteristici: rezistivitatea, permitivitatea dielectrică, rigiditatea dielectrică, tangenta unghiului de pierderi.

În afară de caracteristicile electrice, materialele electroizolante se caracterizează prin **proprietăți fizice, mecanice și chimice**. Dintre aceste proprietăți trebuie reținute următoarele: higroscopicitatea, conductibilitatea termică, rezistența la variații bruște de temperatură, solubilitatea și rezistența la coroziune etc.

*Materialele electroizolante organice* sînt compuși ai carbonului cu alte elemente: hidrogen, oxigen, azot, sulf etc.

*Materialele electroizolante anorganice* sînt materiale care nu au carbon în constituție.

## Verificarea cunoștințelor

1. Care sînt caracteristicile materialelor electroizolante ?
2. Care sînt proprietățile fizico-chimice ale materialelor electroizolante ?
3. Ce sînt clasele de izolație ?
4. Ce materiale electroizolante gazoase cunoașteți ?
5. Ce rășini sînt utilizate în electrotehnică ?
6. Care sînt materialele stratificate utilizate în electrotehnică ?
7. Care sînt dezavantajele din punctul de vedere al proprietăților electroizolante și termice ale materialelor electroizolante fibroase ?
8. Care sînt proprietățile și utilizarea lemnului ?
9. Sub ce formă este utilizată hîrtia în electrotehnică ?

- 10.** Cum se obțin materialele textile naturale ?
- 11.** Cum se obțin materialele textile sintetice ?
- 12.** Care sînt proprietățile materialelor fibroase impregnate și lăcuite ?
- 13.** Care sînt proprietățile și utilizările sticlei în electrotehnică ?
- 14.** Care sînt proprietățile materialelor ceramice ?
- 15.** Ce este azbestul ? Sub ce formă se utilizează în electrotehnică ?
- 16.** Care sînt proprietățile pe care trebuie să le aibă materialele electroizolante rezistente în condiții tropicale ?

## Capitolul VIII

### MATERIALE MAGNETICE

#### A. GENERALITĂȚI

Se numește **magnetism** *proprietatea anumitor metale și aliaje de a atrage materiale feroase.*

La unele corpuri, proprietățile magnetice se manifestă în stare naturală. Proprietățile magnetice se pot obține și artificial, iar unele materiale, ca fierul și nichelul, au proprietatea de a se magnetiza și de a păstra magnetismul.

Proprietățile magnetice ale unui material sînt caracterizate de următoarele mărimi: *inducția magnetică ( $B$ ), intensitatea cîmpului magnetic ( $H$ ), permeabilitatea magnetică ( $\mu$ ),* precum și de *curba de magnetizare* care arată dependența dintre  $B$  și  $H$ .

#### 1. CURBA DE MAGNETIZARE

● **Curba de magnetizare** (fig. 8-1) prezintă trei porțiuni distincte, și anume : prima porțiune pornește din origine, și este o dreaptă cu panta foarte mare (pînă în punctul  $a$ ) ; a doua porțiune  $ab$ , este mult curbată și se numește *cotul curbei de magnetizare* ; ultima porțiune este aproape tot o dreaptă, însă cu pantă foarte mică ceea ce arată că materialul este saturat din punct de vedere magnetic.

● Materialele magnetice prezintă **fenomenul de histerezis** adică la variația ciclică a intensității  $H$  a cîmpului, inducția  $B$

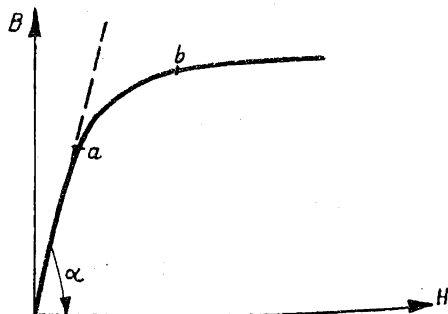


Fig. 8-1. Curba de magnetizare a unui material feromagnetic.

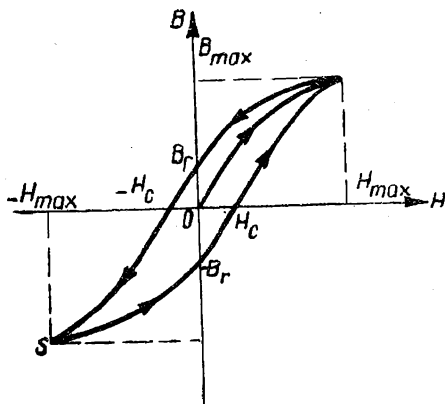


Fig. 8-2. Ciclul histerezis al unui material feromagnetic.

variază ca în figura 8-2. *Ciclul de histerezis* astfel obținut, pune în evidență caracteristicile materialelor magnetice, ca : inducția remanentă ( $B_r$ ) care reprezintă valoarea inducției când  $H = 0$  și cîmpul coercitiv ( $H_c$ ), care reprezintă valoarea intensității cîmpului magnetic când  $B = 0$ . Suprafața ciclului histerezis dă indicații asupra pierderilor\* în materialul magnetic : o suprafață mare corespunde unor pierderi prin histerezis mari.

## 2. MATERIALE FEROMAGNETICE

Materialele feromagnetice se clasifică în :

- *materiale magnetice moi* ;
- *materiale magnetice dure*.

● **Materialele magnetice moi** se caracterizează prin inducție remanentă mică în cîmp coercitiv mic.

Ca urmare, suprafața ciclului histerezis este mică și deci pierderile prin histerezis sînt reduse.

Materialele magnetice moi se magnetizează și demagnetizează ușor.

Reprezentative pentru această categorie de materiale magnetice sînt : fierul tehnic pur, oțelul moale, aliajele fier-siliciu, oțelul turnat sau forjat și aliajele speciale (fier-nichel, fier-cobalt etc.).

Pentru materialele magnetice mai sînt importante valorile permeabilității inițiale  $\mu_i$  și a permeabilității maxime  $\mu_{max}$ .

*Permeabilitatea inițială* este definită ca tangenta la originea curbei de magnetizare (în fig. 8-1,  $\tan \alpha = \mu_i$ ). *Permeabilitatea maximă* reprezintă valoarea maximă a raportului  $B/H$ .

În tabela 8-1 sînt date caracteristicile magnetice ale unor materiale și aliaje folosite în electrotehnică.

\* La modificarea stării de magnetizare a unui material, se consumă o cantitate de energie care se transformă în căldură și constituie pierderile prin histerezis.

Caracteristicile unor materiale magnetice moi

| Denumirea materialului   | Compoziția chimică<br>(în afară de fier)<br>(%) | Permeabilitatea *                                     |                                                         | Cimpul<br>coercitiv<br>$H_i$<br>[A/m] | Inducția<br>la satura-<br>ție<br>$B_{sax}$<br>[Wb/m <sup>2</sup> ] | Denumirea comercială |
|--------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------|
|                          |                                                 | Inițială<br>$\mu_i \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}$<br>[H/m] | maximă<br>$\mu_{max} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}$<br>[H/m] |                                       |                                                                    |                      |
| Fier pur                 | <0,01% °C                                       | 4 000                                                 | 180 000                                                 | 2,15                                  | —                                                                  |                      |
| Fier armco<br>Fier moale | 0,1% impurități                                 | 250                                                   | 7 000<br>2 000...5 000                                  | 69<br>60...155                        | 2,2<br>2,21                                                        |                      |
| Fontă                    | 2...3,5% C<br>0,6...1,2% Si                     | 300                                                   | 2 100                                                   | 138                                   | 1,75                                                               |                      |
| Aliaje fier-siliciu      | ≤4% Si                                          | 500                                                   | 7 000                                                   | 43                                    | 1,97                                                               |                      |
| Aliaje alsifer           | 9,5% Si<br>5,5% Al                              | 30 000                                                | 120 000                                                 | 4,3                                   | 1                                                                  | Sendust              |
| Aliaje fier-nichel       | ≤78,5% Ni                                       | 10 000                                                | 100 000                                                 | 8,6                                   | 1,08                                                               | Permalloy            |
| Aliaje fier-aluminiiu    | 16% Al                                          | 4 000                                                 | 100 000                                                 | 2,06                                  | 0,8                                                                | Alfenol              |
| Aliaje cu cobalt         | 50% Co                                          | 800                                                   | 5 000                                                   | 172                                   | 2,45                                                               | Permendur            |
| Aliaje nichel-cobalt     | 45% Ni<br>25% Co<br>7% Mo                       | 550                                                   | 3 800                                                   | 59                                    | 1,03                                                               | Perminvar            |

Caracteristicile unor materiale magnetice dure

| Denumirea materialului      | Compoziția chimică (în afară de fier) [%]                  | Inducția remanentă $B_r$ [Wb/m <sup>2</sup> ] | Cîmpul coercitiv $H_c$ [A/m] |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|
| Oțel cu crom                | 3,5% Cr ; 0,9% C<br>0,3% Mn ; 0,3% Si                      | 0,9                                           | 5 600                        |
| Oțel cu wolfram             | 6% W ; 0,7% C ; 0,3% Mn ;<br>0,3% Si                       | 1,03                                          | 6 000                        |
| Oțel cu cobalt              | 0,3% Co ; 1% C ; 4% Cr ;<br>0,3% Si ; 1,5% Mo              | 1                                             | 6 900                        |
|                             | 0,9% Co ; 1,05% C ; 9% Cr ;<br>1,5% Mo ; 0,3% Mn ; 0,3% Si | 0,78                                          | 138 000                      |
| Aliaje alni                 | 20...25% Ni<br>10...15% Al                                 | 0,5—0,7                                       | 215 000                      |
|                             |                                                            |                                               | 430 000                      |
| Aliaje alnisi               | 33% Ni ; 13,5% Al ; 1% Si                                  | 0,4                                           | 645 000                      |
| Magneți din pulberi presate | 26% Co                                                     | 0,713                                         | 420 000                      |

● **Materialele magnetice dure** se caracterizează prin inducție remanentă mare și cîmp coercitiv de asemenea mare. Din această categorie fac parte materialele folosite la fabricarea magneților permanenți.

În tabela 8-2 se dau caracteristicile magnetice pentru cîteva materiale magnetice dure.

## B. MATERIALE MAGNETICE MOI

### 1. FIERUL

Datorită proprietăților sale magnetice, mecanice și tehnologice, precum și prețului de cost redus „fierul” (oțel moale) este un material magnetic de bază în industria electrotehnică.

*Proprietățile magnetice ale fierului, ca dealtfel ale oricărui material feromagnetic, depind de procentul de impurități și incluziuni.*

Se știe că fierul nu se utilizează decât aliat cu alte elemente ca : mangan, siliciu, carbon, sulf, fosfor etc.

**Observație.** Proprietățile magnetice ale fierului sînt diminueate mai mult la creșterea conținutului de carbon decât la creșterea conținutului de oxigen.

*Proprietățile magnetice ale fierului depind și de structura sa :* o structură fină, cu granulație mică, determină proprietăți magnetice scăzute.

● Prin **fier tehnic pur** se înțelege fierul cu un conținut de carbon de maximum 0,1% și cu cantități minimum posibile de mangan, siliciu și alte adaosuri.

Printre metalele feromagnetice cunoscute (fierul, nichelul, cobaltul), fierul ocupă un loc aparte, ca urmare a permeabilității sale mari, a saturației ridicate, a bunelor proprietăți mecanice și tehnologice și a prețului de cost relativ scăzut.

Fierul se întrebuițează în componența circuitelor magnetice ale electromagneților, releelor, aparatelor de măsurat etc.

Dintre calitățile de fier tehnic pur, cel mai folosit este *fierul armco*.

● **Fierul moale**, sărac în carbon, avînd un preț de cost scăzut, este folosit la piese polare, la fabricarea aliajelor magnetic dure.

## 2. OȚELUL ȘI FONTA

Sînt folosite foarte mult în construcția mașinilor și a aparatelor electrice. Ele nu sînt materiale specific magnetice, însă, prin poziția pe care o ocupă în circuitul magnetic la unele mașini electrice, sînt parcurse de fluxul magnetic. Deoarece pierderile magnetice prin histerezis sînt mai mari la aceste materiale, oțelurile și fontele nu se utilizează decât în câmpuri magnetice nevariabile în timp (mașini de curent continuu).

Oțelul se folosește în circuitele magnetice ale pieselor supuse unor solicitări mecanice mari, cum este cazul carcaselor mașinilor de curent continuu sau al arborilor generatoarelor sincrone.

Fonta este inferioară din punct de vedere magnetic și mecanic. Are avantajul că se toarnă bine și este mai ieftină. Utilizarea fontei în circuitele magnetice devine din ce în ce mai redusă, datorită slabei sale proprietăți magnetice și mecanice, precum și greutății prea mari a produselor.

## 3. TABLA SILICIOASA

Tabla silicioasă servește la realizarea circuitelor magnetice ale mașinilor electrice, transformatoarelor, releelor, aparatelor de măsurat și a tuturor mecanismelor electromagnetice.

Această tablă este de fapt un oțel aliat cu siliciu, ce reprezintă cel mai ieftin aliaj magnetic moale.

Procentul de siliciu este de 0,5...4,5%. Siliciul are proprietatea că micșorează pierderile prin curenții turbionari și mărește rezistența mecanică a oțelului. Dar pe măsură ce conținutul în procente de siliciu crește, aliajul devine foarte dur și casant. De aceea nu se fabrică aliaje cu mai mult de 5% Si.

După gradul de aliere cu siliciu, tabla silicioasă pentru uz electro-tehnic se clasifică în patru calități. Tablele silicioase E I sînt slab aliate, cele E II sînt mediu aliate, cele E III sînt bogat aliate, iar cele E IV sînt supraaliate.

Tabla silicioasă se laminează sub formă de foi subțiri, pentru a se reduce astfel pierderile prin curenți turbionari. Cele mai utilizate sînt foile de tablă silicioasă avînd grosimi cuprinse între 0,2 și 0,5 mm. Tabla silicioasă de 0,2 mm se folosește la realizarea circuitelor magnetice cu frecvența cîmpului magnetic ridicată (peste cîteva mii de Hz). Pentru fabricarea transformatoarelor electrice de forță, se utilizează în special table de 0,35 mm, în timp ce pentru fabricarea motoarelor și generatoarelor electrice se utilizează table de 0,5 mm.

#### 4. ALIAJE FIER-NICHEL

Aliajele fier-nichel se caracterizează prin aceea că au permeabilitate mare în regiunea cîmpurilor slabe, adică au permeabilitatea inițială mare. Ele sînt necesare pentru construirea de aparate utilizate în domeniul telecomunicațiilor, automatizărilor și măsurărilor electrice.

*Permalloy*-ul este cel mai întrebunțat dintre aceste aliaje. El cuprinde 75% Ni și 25% Fe.

Proprietățile aliajelor de tip permalloy se pot varia și prin introducerea de adaosuri de molibden, crom, cupru, mangan, care măresc rezistivitatea și permeabilitatea inițială a materialului.

**Notă.** Rezistivitatea permalloy-ului fiind redusă, rezultă că pierderile prin curenți turbionari sînt mari. De aceea se introduc în aliaj cîteva procente de Mo și Cr, care înlătură acest neajuns.

#### 5. ALIAJE ALSFIER

Aliajele alsifer au în compoziția lor în afară de fier, siliciu (9,5%) și aluminiu (5,6%). Și aceste materiale au permeabilitatea inițială mare. Au avantajul că sînt mai ieftine decît permalloy-ul.

Alsiferul este dur, nemaleabil. El se folosește numai turnat, prelu-crîndu-se prin șlefuire.

El nu se poate fabrica în foi subțiri, deci nu poate fi utilizat sub această formă în înaltă frecvență sau chiar la 50 Hz.

Alsiferul se utilizează la fabricarea de ccrane magnetice turnate, de carcase pentru mașini și aparate electrice, de circuite magnetice care lucrează în curent continuu și pentru miezuri de aparate de înaltă frecvență.

## 6. ALIAJE MAGNETICE SPECIALE

● **Aliaje cu inducție mare la saturație.** Aceste aliaje se obțin prin alierea fierului pur cu *cobaltul*. Cel mai indicat procentaj de aliere cu cobaltul este 50...70. Acest aliaj poartă numele de *permindur*.

Permindurul are și o permeabilitate deosebit de mare, fiind utilizat din acest motiv ca membrană telefonică.

În câmpuri slabe permindurul are proprietăți magnetice slabe față de fierul și oțelul electrotehnic, iar pierderile prin histerezis și cele prin curenți turbionari sînt mari.

● **Aliaje cu permeabilitate constantă.** Aceste aliaje au proprietatea că *în anumite domenii de variație a cîmpului, permeabilitatea este constantă*. Dintre acestea se menționează *perminvarul*.

Perminvarul conține 45% Ni, 25% Co, eventual 7% Mo și restul fier.

Din cauza dificultăților de fabricație utilizarea lui este limitată, fiind folosit pentru construcția aparatelor de curenți purtători în telefonie pe distanțe mari, a aparatelor de măsurat de mare precizie, în sisteme de automatizări.

● **Aliaje termomagnetice.** Aceste aliaje au *permeabilitatea dependentă foarte mult de temperatură*. Pentru activarea erorilor de temperatură ale aparatelor de măsurat, se utilizează șunturi magnetice din material termomagnetic. Într-un anumit interval de temperaturi, aceste materiale prezintă o variație pronunțată a permeabilității.

Se utilizează aliaje de Ni cu 30...40% Cu, denumite *calmalloy*, sau de Fe cu 30% Ni, denumite *termalloy*, sau de Fe cu 35% Ni și 8...13% Cr, denumite *compensator*.

## C. MATERIALE MAGNETICE DURE

### 1. OȚELURI SPECIALE

● Inițial, ca material pentru magneți permanenți a fost utilizat **oțelul carbon** (1...1,5%). Acesta are *proprietăți magnetice slabe și stabilitate mică a inducției remanente* la magneți.

Pentru asigurarea unui câmp coercitiv mare, oțelul trebuie călit. Grosimea stratului de călire a oțelurilor carbon este însă relativ mică, ceea ce determină ca magneții realizați din aceste oțeluri să nu poată avea decât dimensiuni reduse, limitându-se astfel utilizarea.

● **Oțelurile cu wolfram** au un câmp coercitiv cu 10...15% mai mare decât al oțelurilor carbon și inducția remanentă — cu 15...20% mai mare.

Pentru a avea proprietăți optime, oțelul cu wolfram trebuie să conțină 0,6...0,75% C, 5,5...6,5% W.

● **Oțeluri cu crom.** Ca și wolframul, cromul mărește valoarea inducției remanente și a câmpului coercitiv al oțelului.

Oțelurile cu crom se călesc în ulei, deoarece în cazul călirii în apă, materialul prezintă fisuri.

Avantajul principal pe care îl prezintă oțelurile cu crom este prețul redus în comparație cu oțelurile cu wolfram. Dealtfel, aceste oțeluri au fost elaborate tocmai în scopul înlocuirii wolframului.

● **Oțelurile cu cobalt** au proprietăți magnetice foarte bune. Sînt utilizate la confecționarea difuzoarelor dinamice, a magnetourilor etc.

Pentru a se asigura călirea în profunzime a oțelurilor cu cobalt li se adaugă crom. În scopul îmbunătățirii proprietăților, oțelurile cu cobalt se pot alia și cu wolfram sau molibden. Molibdenul este mai puțin indicat, întrucît înrăutățește proprietățile tehnologice ale oțelului.

Oțelurile cu cobalt prezintă dezavantajul că îmbătrînesc în timp, ceea ce are ca urmare scăderea câmpului coercitiv. S-a constatat că îmbătrînirea se accentuează în cazul creșterii temperaturii de lucru. Magneții permanenți confecționați din oțeluri cu cobalt se execută prin forjare sau prin turnare, atunci cînd sînt necesare forme complicate.

## 2. ALIAJE TIP ALNI

Aliajele fier-nichel-aluminiiu (Fe-Ni-Al), denumite *alni*, au compoziția 20...25% Ni, 10...15% Al și restul fier. Conținutul de nichel mărește valoarea câmpului coercitiv, reducînd în schimb valorile inducției remanente.

Scăderea sau mărirea conținutului de aluminiiu în afara procentelor menționate determină o reducere accentuată a proprietăților magnetice.

*Proprietățile magnetice ale aliajelor alni sînt influențate în mod deosebit de tratamentul termic.* Astfel, pentru obținerea caracteristicilor optime prin călire, răcirea trebuie să se facă cu o anumită viteză.

*Impuritățile pe care aliajele alni le pot avea, influențează de asemenea proprietățile magnetice.* Carbonul, întîlnit frecvent în aceste aliaje și

foarte dăunător, are următorul efect : la creșterea procentului de carbon de la 0,1 la 0,4% câmpul coercitiv și inducția remanentă scad cu circa 30%.

*Siliciul* are de asemenea o influență dăunătoare, însă mai redusă decât a carbonului.

Aliajele alni au proprietăți tehnologice slabe, fiind foarte dure. Aceste aliaje, neputîndu-se prelucra decât prin șlefuire, piesele respective se confecționează prin turnare, prin presarea pulberilor de alni în prezența unui liant în forme încălzite, sau prin presarea acestor pulberi de alni la temperatură ridicată, fără material de legătură (procedeu numit *sinterizare*). Piesele obținute prin sinterizare au proprietăți mai bune decât prin presare cu liant, însă în schimb costul lor este mai ridicat.

Odată cu introducerea pe scară largă industrială a aliajelor alni, s-au făcut intense cercetări pentru aliere cu elemente noi a aliajelor fier-nichel-aluminiu.

● Singurul element care a permis majorarea esențială a inducției aliajelor alni s-a dovedit a fi cobaltul. Aceste aliaje, care au și cobalt, au căpătat denumirea de **alnico**.

● Foarte bune calități magnetice au și *aliajele de fier, aluminiu, nichel și siliciu, denumite alnisi*.

În țara noastră, întreprinderea „Electromagnetica” din București fabrică asemenea aliaje pentru magneți permanenți.

Magneții permanenți au o largă utilizare în tehnică, ei fiind folosiți pentru aparate de măsurat magnetoelectrice, contoare electrice, difuzoare, aparate de înregistrare și reprodus sunete, magnetouri etc.

### 3. ALIAJE CONȚINÎND METALE PREȚIOASE

Caracteristic acestor aliaje este *câmpul coercitiv foarte mare și inducția remanentă scăzută*.

● **Aliajul Mn (8,8%) — Ag (86,5%) — Al (4,7%)** este folosit la magneții aparatelor de măsurat de dimensiuni mici. Acești magneți nu-și schimbă magnetismul remanent, oricare ar fi acțiunea câmpurilor magnetice exterioare.

● **Aliajele Pt (77,8%) — Fe (22,2%) — Pt (76,7%) — Co (23,3%)** au proprietatea de a se lamina și trefila la rece.

### 4. MAGNEȚI DIN PULBERI FEROMAGNETICE

Din pulbere de fier sau pulbere de fier amestecată cu 26% pulbere de cobalt se pot obține magneți permanenți prin presare și sinterizare, așa cum s-a arătat la magneții din aliaje tip alni.

Magneții din pulbere de fier au proprietăți comparabile cu ale celor din aliaje alni, nu necesită materiale deficitare, dar au stabilitate redusă la îmbătrânire.

## REZUMAT

Elementele care caracterizează proprietățile magnetice ale unui material sînt : *inducția, intensitatea cîmpului magnetic, permeabilitatea magnetică și curba de magnetizare.*

Caracteristic pentru un material magnetic este fenomenul de *histerezis*.

Materialele feromagnetice se clasifică în materiale magnetice moi și materiale magnetice dure.

**Materialele magnetice moi** se caracterizează prin inducție remanentă mică și cîmp coercitiv mic. Din această categorie fac parte : fierul, oțelul și fonta, tabla silicioasă, aliajele fier-nichel și aluminu-fier-siliciu.

**Materialele magnetice dure** au inducție remanentă și cîmp coercitiv mare. Ele folosesc la fabricarea magneților permanenți. Din această categorie fac parte diverse oțeluri aliate cu wolfram, crom sau cobalt, aliajele fier-nichel-aluminu (Alni), aliaje de diverse metale prețioase (Ag, Pt).

*Sinterizarea* este procedeul de obținere a magneților permanenți din pulberi metalice presate la temperaturi ridicate fără material de legătură.

## Verificarea cunoștințelor

1. Ce mărimi caracterizează proprietățile magnetice ale unui material ?
2. Cum se clasifică materialele magnetice ?
3. Care este utilizarea fierului, fontei și oțelului ca materiale magnetice ?
4. Cum se utilizează tabla silicioasă în electrotehnică ?
5. Enumerați diferitele aliaje utilizate ca materiale magnetice moi și dure. Prin ce se caracterizează fiecare ?

## CUPRINS

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Introducere</i> . . . . .                                                               | 3   |
| Cap. I. <b>Domeniul de utilizare și clasificarea materialelor electrotehnice</b> . . . . . | 5   |
| A. Generalități . . . . .                                                                  | 5   |
| B. Clasificarea materialelor folosite în electrotehnică . . . . .                          | 7   |
| Cap. II. <b>Proprietățile metalelor și aliajelor</b> . . . . .                             | 10  |
| A. Generalități . . . . .                                                                  | 10  |
| B. Proprietăți fizice . . . . .                                                            | 11  |
| C. Caracteristici mecanice . . . . .                                                       | 14  |
| D. Caracteristici tehnologice . . . . .                                                    | 19  |
| E. Încercări tehnologice . . . . .                                                         | 19  |
| Cap. III. <b>Aliaje fier-carbon</b> . . . . .                                              | 22  |
| A. Generalități . . . . .                                                                  | 22  |
| B. Fonte . . . . .                                                                         | 22  |
| C. Oțeluri . . . . .                                                                       | 29  |
| Cap. IV. <b>Materiale conductoare</b> . . . . .                                            | 35  |
| A. Materiale conductoare de înaltă conductivitate . . . . .                                | 35  |
| B. Materiale conductoare de mare rezistivitate . . . . .                                   | 47  |
| Cap. V. <b>Coroziunea metalelor</b> . . . . .                                              | 53  |
| A. Generalități . . . . .                                                                  | 53  |
| B. Comportarea diferitelor materiale la coroziune . . . . .                                | 53  |
| C. Coroziunea chimică și electrochimică . . . . .                                          | 54  |
| D. Factorii care influențează coroziunea . . . . .                                         | 56  |
| E. Protecția metalelor împotriva coroziunii . . . . .                                      | 57  |
| Cap. VI. <b>Materiale semiconductoare</b> . . . . .                                        | 61  |
| A. Proprietăți generale . . . . .                                                          | 61  |
| B. Explicarea conductibilității semiconductoarelor . . . . .                               | 62  |
| C. Principalele materiale semiconductoare . . . . .                                        | 65  |
| Cap. VII. <b>Materiale electroizolante</b> . . . . .                                       | 69  |
| A. Caracteristicile generale ale materialelor electroizolante . . . . .                    | 69  |
| B. Diverse tipuri de materiale electroizolante . . . . .                                   | 77  |
| Cap. VIII. <b>Materiale magnetice</b> . . . . .                                            | 109 |
| A. Generalități . . . . .                                                                  | 109 |
| B. Materiale magnetice moi . . . . .                                                       | 112 |
| C. Materiale magnetice dure . . . . .                                                      | 115 |